Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie

NACHHALTIG wirtschaften
konkret

Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung

R. Bointner, T. Bednar, S. Eikemeier, S. Ghaemi, R. Haas,

C. Harreither, H. Huber-Fauland, C. Ipser, K. Krec, M. Leeb,

K. Ponweiser, T. Steiner, K. Stieldorf, P. Wegerer, D. Wertz

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

56a/2012

Dynamik mit Verantwortung

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
http://www.nachhaltigwirtschaften.at

Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung

DI Raphael Bointner, DI Dr. Sara Ghaemi, Prof. DI Dr. Reinhard Haas
Institut für Energiesysteme und elektrische Antriebe
Technische Universität Wien

DI Heike Huber-Fauland, Prof. DI Dr. Karl Ponweiser, DI Dietrich Wertz
Institut für Energietechnik und Thermodynamik
Technische Universität Wien

Prof. DI Dr. Thomas Bednar, DI Markus Leeb,
DI Paul Wegerer, DI Christoph Harreither
Institut für Hochbau und Technologie
Technische Universität Wien

DI Christina Ipser, Prof. DI Dr. Klaus Kreč,
DI Tobias Steiner, Prof. DI Dr. Karin Stieldorf
Institut für Architektur und Entwerfen
Technische Universität Wien

DI (FH) Sören Eikemeier
Gruppe Angepasste Technologie
Verein an der Technischen Universität Wien

Wien, Juni 2012

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

HAUS der Zukunft

im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse **http://www.HAUSderZukunft.at** Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Österreich ist im Bereich des nachhaltigen und energieeffizienten Bauens in der Weltspitze angesiedelt. Wenngleich eine höhere Marktdurchdringungsrate wünschenswert wäre, so kann das Konzept des Niedrigstenergiegebäudes mittlerweile als Stand der Technik angesehen werden. Die kontinuierliche Weiterentwicklung hin zum Plusenergiegebäude kann also nur die logische Konsequenz dieser Technologieführerschaft heimischer Unternehmen sein. Genau mit dieser Weiterentwicklung hin zum Plusenergiegebäude – aktuellen Herausforderungen der Energie- und Klimapolitik gerecht werdend - beschäftigt sich die vorliegende Arbeit in umfangreicher und ausführlicher Weise. Neben Architektur, Ökonomie, Ökologie, Energieeffizienz und Energiesuffizienz sowie dem Einsatz erneuerbarer Energieträger kommt es im Plusenergiegebäude vor allem auf die vernünftige Kombination der verfügbaren Technologien an. Die zugrunde liegende Technik ist dabei aber niemals Selbstzweck sondern muss immer dem Menschen dienen: Plusenergiegebäude müssen – wie andere Gebäude auch – primär den Bedürfnissen ihrer Bewohner und Nutzerinnen gerecht werden. In diesem Sinne wünsche ich Ihnen im Namen des Projektteams viel Spaß beim Lesen!

Herzlichst, Ihr

Raphael Bointner

„Wenn du ein Schiff bauen willst, dann trommle nicht Männer zusammen, um Holz zu beschaffen, Aufgaben zu vergeben und Arbeit einzuteilen, sondern lehre sie die Sehnsucht nach dem weiten, endlosen Meer.“
Antoine de Saint-Exupéry

Gewidmet allen, die zum Erfolg dieser Arbeit betragen haben.

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung / Abstract 9
   1.1. Kurzfassung 9
   1.2. Abstract 11
2. Zusammenfassung 13
3. Einleitung 17
   3.1. Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms 18
   3.2. Beschreibung des Aufbaus der Arbeit 20
4. Methodik, Definition und Daten 23
   4.1. Entwicklungen im Gebäudesektor und der Haustechnik 23
      4.1.1. Regelungen und Richtlinien 23
      4.1.2. Vom Passivhaus zum Plusenergiegebäude 23
      4.1.3. Ist-Stand im innovativen Gebäudebereich: Strategien und Konzepte 24
      4.1.4. Herausforderungen für Architekten und Planer 24
   4.2. Definition von Plusenergie-Gebäuden 25
      4.2.1. Was bedeutet „Plusenergie“? 25
      4.2.2. Bestehende Definitionsansätze 26
         4.2.2.1. Systemgrenzen der Energiebereitstellung 26
         4.2.2.2. Definition über die Energiebilanz 28
      4.2.3. Gewählte Definition von Plusenergie-Gebäuden 31
   4.3. Methodik 33
   4.4. Primärenergiefaktoren und CO_2-Äquilvalent 37
   4.5. Halbsynthetische Klimadaten 39
      4.5.1. Auswahl der Standorte 39
      4.5.2. Vergleich der langjährigen Klimadaten 40
         4.5.2.1. Außenlufttemperatur 41
         4.5.2.2. Relative Luftfeuchtigkeit 42
         4.5.2.3. Niederschlag 43
         4.5.2.4. Globalstrahlung 44
         4.5.2.5. Himmelsstrahlung 45
         4.5.2.6. Luftdruck 46
         4.5.2.7. Windgeschwindigkeit 47
      4.5.3. Erzeugung der HSKD 47
5. Architektur eines Plusenergie-Hauses 51
   5.1. Optimierung in Städtebau und Raumplanung 51
      5.1.1. Die energieeffiziente Stadt als unerlässliches Zukunftsmodell 51
      5.1.2. Potentiale 51
      5.1.3. Ziele und Schwerpunkte 51
      5.1.4. Entwurfsoptimierung und Planungsmaßnahmen 52
      5.1.5. Urbane Dichte - humanökologische Betrachtung 54
   5.2. Modellgebäude 55

5.2.1. Wohngebäude 55
5.2.1.1. Kleingartenwohnhaus 56
5.2.1.2. Einfamilienhaus 57
5.2.1.3. Reihenhaus 59
5.2.1.4. Mehrfamilienwohnhaus 62
5.2.2. Bürogebäude 63
5.2.3. Gewerbebetrieb 65
5.3. Entwurfs- und Planungsstrategien 67
5.3.1. Voraussetzungen und Maßnahmen zum Plus-Energie-Standard 67
5.3.2. Planungsleitsätze aus den Simulationsstudien 69
5.3.3. Auswahlkriterien der Energieträgertechnologien im Gebäudebereich 70
5.4. Optimierung im Bestand 71
5.5. Optimierung im Neubau 76
5.5.1. Standortklima 76
5.5.2. Südorientierte Verglasungsflächen 77
5.5.3. Verglasungsanteil der Fassade im Bürobau 78
5.5.4. Orientierung großer Glasflächen 79
5.5.5. Speichermasse 81
5.5.6. Kompaktheit des Baukörpers 81
5.5.7. Gebäudeabstand im dichtverbauten Stadtraum 82
5.5.8. Lüftungswärmerückgewinnung 82
5.5.9. Nachtlüftung 83
5.5.10. Schrägverglasungen 85
5.5.11. Verglasungsart 85
6. Aktive und passive Komponenten eines Plusenergie-Hauses 87
6.1. Raummodell und Behaglichkeit 87
6.1.1. Raumklima und Behaglichkeit 87
6.1.1.1. Raumlufttemperatur 89
6.1.1.2. Strahlungsasymmetrien durch Temperaturunterschiede der Raumumschließungsflächen 90
6.1.1.3. Raumluftfeuchte 92
6.1.1.4. Luftbewegung 93
6.1.2. Modellbildung 94
Raumgeometrie / Zonierung 95
6.1.3. Behaglichkeit in Abhängigkeit der Fassade und der Raumposition 96
6.1.3.1. Geometrie 96
6.1.3.2. Beschreibung der Bauteile 97
6.1.3.3. Haustechnikanlage 98
6.1.3.4. Lage der Arbeitsplätze 98
6.1.3.5. Randbedingungen 99
6.1.3.6. Konversionsfaktoren 99
6.1.3.7. Variantenbeschreibung 99
6.1.3.8. Ergebnisse 100

6.1.4. Kühlbedarf eines Büros 101
6.2. Bauteilintegrierte Photovoltaik und Solarthermie 103
6.2.1. Beschreibung typischer flacher thermischer Sonnenkollektoren 103
6.2.2. Strategien zur Gebäudeintegration von Photovoltaik und Solarthermie 104
6.2.3. Arten von Dampfbremsen 104
6.2.4. Hinterlüftete Fassade und Fassade mit Solarkollektor im Vergleich 105
6.2.5. Beispiel 106
6.3. Ökologische und bauphysikalische Bewertung der Bauteile 111
6.4. Detailbeschreibung der Bauteile 120
6.5. Stromverbrauch und Verbrauchsreduktion 156
6.5.1. Der Thermoölkreislauf 156
6.5.1.1. Komponenten eines Thermoölkreislaufs 158
6.5.1.2. Temperaturniveau 159
6.5.1.3. Kosten 160
6.5.1.4. Anwendungsgebiete 161
6.5.2. Haushalte 161
6.5.2.1. Stochastisches Bottom-up Markovketten-Modell 163
6.5.2.2. Einsparungspotential durch Energieeffizienzstandards 165
6.5.2.3. Einsparungspotential durch einen Thermoölkreislauf 166
6.5.3. Bürogebäude 171
6.5.4. Fabrikshalle 174
6.5.5. Aussicht – zentrales Energieversorgungssystem für eine Siedlung 177
6.6. Energiebereitstellung 178
6.6.1. Biomasse-Heizkessel 186
6.6.1.1. Energie 186
6.6.1.2. Ökologie 193
6.6.1.3. Technologiediffusion 194
6.6.2. Fernwärme 195
6.6.2.1. Energie 195
6.6.2.2. Ökologie 195
6.6.3. Kraft-Wärme-Kopplung 195
6.6.4. Photovoltaik 196
6.6.4.1. Energie 196
6.6.4.2. Ökologie 196
6.6.4.3. Technologiediffusion und Lernrate 198
6.6.5. Solarthermie 199
6.6.5.1. Energie 199
6.6.5.2. Ökologie 199
6.6.5.3. Technologiediffusion und Lernrate 200
6.6.6. Solares Kühlen 202
6.6.6.1. Energie 202
6.6.6.2. Technologiediffusion 202
6.6.7. Kältemaschinen, Wärmepumpen und Geothermie 202

6.6.7.1. Energie 203
6.6.7.2. Ökologie 209
6.6.7.3. Technologiediffusion 209
6.6.8. Windkraft 210
6.6.8.1. Energie 211
6.6.9. Gaskessel 213
6.6.9.1. Energie 214
6.6.9.2. Ökologie 214
6.6.9.3. Technologiediffusion und Lernrate 214
6.6.10. Kleinwasserkraft 215
6.7. Energiespeicher 216
7. Optimierung von Plus-Energie-Gebäuden 218
7.1. Kleingartenhaus 222
7.1.1. Energetische Optimierung 222
7.1.2. Ökologische Optimierung 224
7.1.3. Ökonomische Optimierung 226
7.2. Einfamilienhaus 229
7.2.1. Energetische Optimierung 229
7.2.2. Ökologische Optimierung 230
7.2.3. Ökonomische Optimierung 233
7.3. Reihenhaus 235
7.3.1. Energetische Optimierung 235
7.3.2. Ökologische Optimierung 236
7.3.3. Ökonomische Optimierung 239
7.4. Mehrfamilienwohnhaus 241
7.4.1. Energetische Optimierung 241
7.4.2. Ökologische Optimierung 243
7.4.3. Ökonomische Optimierung 245
7.5. Bürogebäude und Gewerbebetrieb 247
7.5.1. Energetische Optimierung 247
7.5.2. Ökologische Optimierung 249
7.5.3. Ökonomische Optimierung 252
7.6. Wesentliche Erkenntnisse 256
8. Schlussfolgerungen 260
8.1. Empfehlungen 261
8.1.1. Empfehlungen für die Bauwirtschaft 261
8.1.2. Empfehlungen für politische Rahmenbedingungen 262
8.1.3. Empfehlungen für Forschung und Entwicklung 265
8.2. Zukünftige Bedeutung von Plus-Energie-Gebäuden 266
9. Literaturverzeichnis 270
10. Abbildungsverzeichnis 285
11. Tabellenverzeichnis 294
12. Anhang 296

12.1. Dokumentation der halbsynthetischen Klimadaten 296
12.1.1. Standort: Wien 297
12.1.1.1. Datengrundlagen 297
12.1.1.2. Überblick über die erzeugten halbsynthetischen Klimadaten 298
12.1.2. Standort: Innsbruck 306
12.1.2.1. Datengrundlagen 306
12.1.2.2. Überblick über die erzeugten halbsynthetischen Klimadaten 308
12.1.3. Standort: Klagenfurt 315
12.1.3.1. Datengrundlagen 315
12.1.3.2. Überblick über die erzeugten halbsynthetischen Klimadaten 317
12.1.4. Standort: Mallnitz 324
12.1.4.1. Datengrundlagen 324
12.1.4.2. Überblick über die erzeugten halbsynthetischen Klimadaten 326
12.2. Mathematisches Modell des Raumes 334
12.2.1. Modellierung der Druckverhältnisse in Konstruktionen 344
12.3. Bauteilintegrierte Photovoltaik und Solarthermie 345
12.3.1. Physikalisches Model für den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport 345
12.3.2. Solare Wärmegewinne des Kollektors 346
12.3.3. Bio-Hygrisches Model für Verrottung und Schimmelpilzbildung 349
12.3.3.1. Model für Verrottung 349
12.3.3.2. Model für Schimmelpilzbildung 351
12.4. Energieverbrauch 354
12.5. Daten für die ökologische Bewertung 357
12.6. Verwendete Formelzeichen 404

Haftungsausschluss

Trotz sorgfältiger Recherche kann für die Richtigkeit der Inhalte, weiterführende Links u.dgl. sowie die künftige Gültigkeit keinerlei Haftung übernommen werden. Die in dieser Studie enthaltenen Informationen ersetzen nicht eine gewissenhafte, ingenieurmäßige Planung sowie die Beachtung der einschlägigen Normen und gesetzlichen Vorschriften für konkrete Umsetzungsprojekte.

1. Kurzfassung / Abstract

1.1. Kurzfassung

Der Primärenergieverbrauch in Österreich beruht zu einem großen Teil auf der Bereitstellung von Energiedienstleistungen auf Basis fossiler Energieträger in Gebäuden (Haushalte und Betriebe). Damit verbunden sind eine hohe Importabhängigkeit, eine kritische Versorgungssicherheit und hohe Treibhausgasemissionen während des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden. Unter diesem Hintergrund sind aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht eine nachhaltige Bereitstellung von erneuerbaren Energieträgern und energieeffiziente Gebäudekonzepte anzustreben.

Die Gestaltung energieeffizienter Aufbauten der Gebäude mit integrierter Nutzung erneuerbarer Energiequellen ist damit ein wichtiger Schritt zur Gestaltung eines nachhaltigen Energiesystems mit einer Verringerung der Treibhausgasemissionen und Verbesserung der Versorgungssicherheit sowie einer deutlichen Erhöhung der Energieeffizienz. Die langfristige Vision ist eine bebaute Umwelt, die vom Energieverbraucher zum Lieferanten von Energie wird und somit dem innovativen Konzept eines Plusenergiegebäudes entspricht. Die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit behandelt somit die Einsatzmöglichkeit und den Nutzen von Plusenergiegebäuden hinsichtlich ihrer energetischen, ökologischen und ökonomischen Machbarkeit und so die gesamte Gebäudehülle in dem Sinne optimal zu gestalten, dass Wärmeverluste minimiert und Gewinne aus der Nutzung erneuerbarer Energie maximiert werden.

In dieser Arbeit zeigen wir anhand konkreter Modellgebäude (Wohnhaus, Büro- und Fabriksgebäude), dass wirtschaftliche Plusenergiegebäude unter Berücksichtigung der Ökologie und mit Einsatz erneuerbarer Energie schon heute möglich sind. Drei wesentliche Aspekte in der Gestaltung eines Plusenergiegebäudes, die sich zum Teil auch gegenseitig beeinflussen, sind der Standort, die Architektur und die Wahl des Heizsystems, wofür in erster Linie Wärmepumpen, Pelletsheizungen oder Fernwärmeanschlüsse die beste Lösung darstellen. Die Kenntnis grundlegender klimatischer Daten des Gebäudestandorts ist für eine qualitativ hochwertige Planung unumgänglich. Photovoltaik kann als elementarer Bestandteil eines Plusenergiegebäudes angesehen werden. Sollte sich die Photovoltaik hinsichtlich ihres Wirkungsgrads und der Preise wie in den vergangenen Jahren weiterentwickeln, wird sie in den nächsten Jahren mit großer Wahrscheinlichkeit eine weite Verbreitung im Gebäudesektor finden. Somit wird sowohl der Energieeffizienz als auch der entsprechenden Integration von erneuerbaren Energiequellen in die Gebäude zukünftig eine wesentliche Stellung hinsichtlich der Reduktion von Treibhausgasen und einer verringerten Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zukommen. Die ökonomisch günstigste Variante der jeweiligen Modellgebäude nach der Barwertmethode nutzt zwar nicht das volle ökologische und energetische Verbesserungspotential aus, erreicht aber pro Jahr eine negative nicht-

erneuerbare Primärenergiebilanz und damit gemäß Definition Plusenergiestandard, wobei die tatsächlichen Einsparungen vom Gebäudetyp und dem Standort abhängig sind.

Hinsichtlich der zukünftigen Relevanz von Plus-Energie-Gebäuden liegt neben dem Neubau, bei ungleich größeren Herausforderungen für die Planung, das wesentlich größere Potential für Plusenergie im Gebäudebestand. Es wird in Zukunft also vor allem auf Lösungen zur Erreichung des Plus-Energie-Standards im Gebäudebestand ankommen. Dennoch wird es noch einige Jahrzehnte dauern, bis sich Plusenergiegebäude auf den Gesamtgebäudebestand in Österreich signifikant auswirken werden. Je nach Diffusionsrate – in den Szenarien einer geringen, mittleren und hohen Technologiediffusion - werden Plusenergiegebäude einen Anteil von 5% – 21% am österreichischen Gebäudebestand im Jahr 2050 erreichen. Als Diffusionstreiber hin zu einer hohen Verbreitung von Plusenergiegebäuden können in erster Linie Kosteneinsparungen der neuen Technologie (z. B. durch hohe Energiepreise), Förderungen und ordnungspolitische Maßnahmen (z. B. eine ambitionierte Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU) gesehen werden. Je nach Diffusionsszenario werden im Jahr 2050 ca. 100.000 bis 400.000 Wohngebäude durch Neubau und Sanierung Plusenergie-Standard erreichen. Im Bereich der Nicht-Wohngebäude können 8.000 bis 50.000 Plusenergiegebäude bis 2050 erwartet werden. Bei einer Gesamtzahl von etwa 2,1 Mio. Gebäuden in Österreich im Jahr 2050 kann also bis zu einem Fünftel Plus-Energie-Standard erreichen.

1.2. Abstract

Energy supply services for buildings (residential and non-residential) are largely responsible for the primary energy consumption in Austria. Because the supply is mainly based on fossil energy sources, high import dependence and a crucial security of energy supply are given. In addition, fossil energy sources cause immense greenhouse gas emissions during the production process of components and the building operation, briefly about the whole life cycle. From an ecological and an economic view, a sustainable and secure supply of renewable energy sources as well as energy-efficient system solutions shall be applied.

The conception of energy-efficient components of the building envelope with integrated renewable "energy production" is the prior step and the starting point of the creation of a sustainable energy system with a clear rise of energy efficiency, reduction of greenhouse gas emissions and improvement of security of supply by the use of renewable energy sources. The long-term vision is a building sector evolving from an energy consumer to a supplier of energy, which corresponds to the innovative concept of a plus-energy-building. The core question of this work thus treats the applicability and the benefits of plus-energy-buildings in terms of energy, ecological and economic feasibility, to design the entire building envelope optimally, so that heat losses are minimized and profits from the use of renewable energy can be maximized.

Shown by case studies (residence, office and factory buildings) it becomes evident, that plus-energy-buildings are economic feasible, as the technology is already available. Three important aspects in the design of plus-energy-buildings, which influence each other to some extent, are the location, the architecture and the choice of heating system, for which heat pumps, pellet boilers or district heating systems are probably the best solution. Knowledge of fundamental climatic data of the building site appears essential for high-quality planning. Photovoltaics can be used as an elementary component of a plus-energy-building. If photovoltaic technology and prices evolve as in the past few years, it will reach a widespread adoption in the building sector during the next decade very likely. Thus, both the energy efficiency and the corresponding integration of renewable energy sources in buildings are expected to play a significant role in terms of reducing greenhouse gases and a reduced dependence on fossil fuels. The economic evaluation of the cases studies is conducted by the present value method. The best economic solution does not utilise the full ecological nor energetic potential of improvement. However, it achieves a negative non-renewable primary energy balance per year and a plus-energy standard by definition.

With regard to the future relevance of plus-energy-buildings, beside new buildings, there is a much greater potential in the existing building stock. So, it will be important to focus on solutions for plus-energy-buildings in the existing building stock. However, it will last some decades before plus-energy-buildings will impact significantly on the total building stock in Austria. Depending on the diffusion rate - in the scenarios of low, medium and high

technology diffusion – 5 to 21% of the Austrian housing stock will probably reach a plus-energy standard in 2050. Drivers towards a high diffusion of plus-energy-buildings are cost savings of the new technology, subsidies and regulatory policies (e.g. an ambitious implementation of the EU Buildings Directive 2010/31/EU). Depending on the diffusion scenarios about 100,000 to 400,000 residential buildings could reach a plus-energy standard in 2050. In the non-residential building sector 8,000 to 50,000 plus-energy-buildings can be expected by 2050. With a total of around 2.1 million buildings in Austria in 2050 up to one-fifth may reach a plus-energy standard.

2. Zusammenfassung

Die Bereitstellung von Energiedienstleistungen in Gebäuden (Haushalte und Betriebe) macht einen erheblichen Anteil am gesamten Energiebedarf Österreichs aus und wird zum Großteil mit fossiler Energie abgedeckt. Damit verbunden sind eine hohe Importabhängigkeit, eine kritische Versorgungssicherheit und immense Treibhausgasemissionen während des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden. Unter diesem Hintergrund sind aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht eine nachhaltige Bereitstellung von erneuerbaren Energieträgern und energieeffiziente Gebäudekonzepte anzustreben.

Die Gestaltung energieeffizienter Aufbauten der Gebäude mit integrierter Nutzung erneuerbarer Energiequellen ist damit ein wichtiger Schritt zur Gestaltung eines nachhaltigen Energiesystems mit einer Verringerung der Treibhausgasemissionen und Verbesserung der Versorgungssicherheit sowie einer deutlichen Erhöhung der Energieeffizienz. Die langfristige Vision ist eine bebaute Umwelt, die vom Energieverbraucher zum Lieferanten von Energie wird und somit dem innovativen Konzept eines Plusenergiegebäudes entspricht. Die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit behandelt somit die Einsatzmöglichkeit und den Nutzen von Plusenergiegebäuden hinsichtlich ihrer energetischen, ökologischen und ökonomischen Machbarkeit.

Dabei zeigt sich, dass wirtschaftlich umsetzbare Plusenergiegebäude unter Berücksichtigung der Ökologie und mit Einsatz erneuerbarer Energie schon heute möglich sind (vgl. Abbildung 1). Neben Aspekten der Planung und der ökonomischen Rahmenbedingungen sind natürlich auch rechtliche und soziale Komponenten für Plusenergiegebäude entscheidend. Die Definition zur „Erreichung kostenoptimaler Niveaus[1]“ gemäß Artikel 4.1 der EU-Richtlinie 2010/31/EU in Niedrigst-Energiegebäuden sowie die Ausbildung und Schulung von Fachpersonal sind nur zwei dieser Herausforderungen der nächsten Jahre. Daneben ist natürlich der Nutzer entscheidend. Nur durch ein entsprechendes Nutzerverhalten wird es möglich sein, dass Plusenergiegebäude halten, was sie versprechen. Dafür sind ein Umdenken und ein bewussterer Umgang mit Energie nötig. Letztlich können richtig genutzte Plusenergiegebäude neben Aspekten wie der Wirtschaftlichkeit und des geringen Energieverbrauchs auch mit einer Steigerung der Nutzerzufriedenheit überzeugen und damit ihren Bewohnern und Nutzern zum Vorteil dienen.

Drei wesentliche Aspekte in der Gestaltung eines Plusenergiegebäudes, die sich zum Teil auch gegenseitig beeinflussen, sind der Standort, die Architektur und die Wahl des Heizsystems – sofern ein Heizwärmebedarf besteht. Die Kenntnis grundlegender klimatischer Daten des Gebäudestandorts erscheinen daher für eine qualitativ hochwertige

[1] Die ökonomischen Annahmen zu Lebensdauer, Zinssätzen, Preisentwicklungen etc. haben einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Varianten von Gebäuden, insbesondere über eine Betrachtung über den Lebenszyklus.

Planung unumgänglich. Darauf hat das architektonische Konzept Rücksicht zu nehmen, insbesonders in Hinblick auf die Nutzung passiver solarer Erträge im Winter, der Sommertauglichkeit und der Bereitstellung verschattungsfreier Flächen zur Nutzung gebäudeintegrierter Photovoltaik. Bezüglich des Heizsystems kann keine eindeutige Empfehlung abgegeben werden. Je nach Nutzung des Gebäudes können unterschiedliche Heizsysteme vorteilhaft sein. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Wärmepumpen, Pelletkessel oder Fernwärmeanschlüsse die beste Lösung darstellen. An geeigneten Standorten kann bei entsprechenden inneren und solaren Gewinnen sowie sehr hohen Dämmstandards der Einbau eines Heizsystems unter Umständen ganz entfallen.

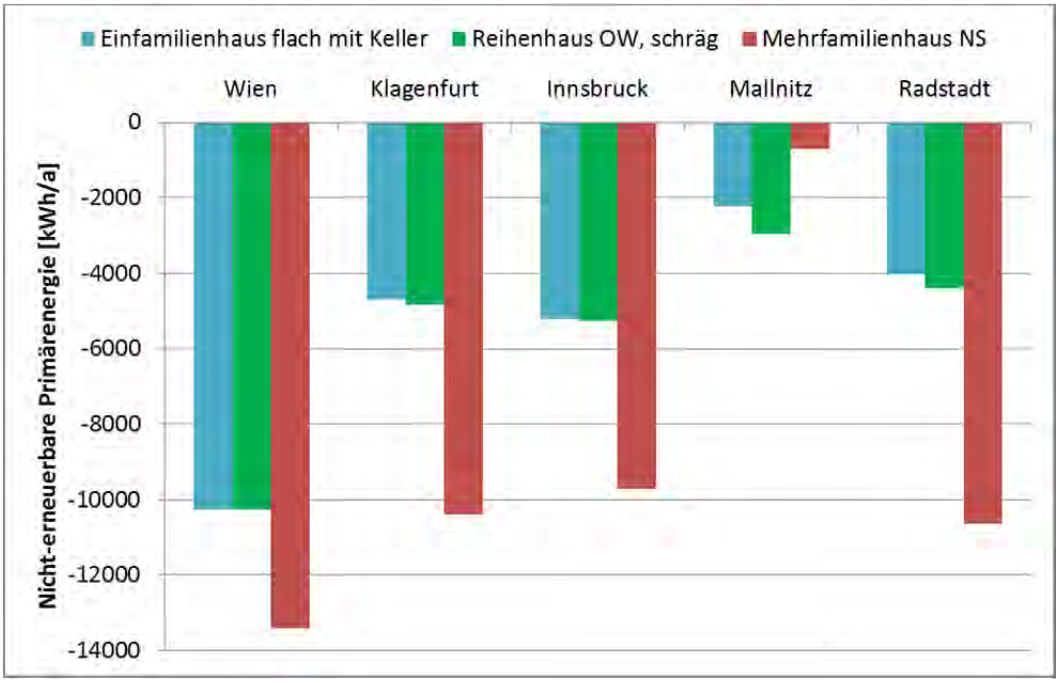


Abbildung 1: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante von Plusenergie-Wohngebäuden p. a. an fünf beispielhaften Standorten in Österreich

Ein Kühlbedarf sollte in Wohngebäuden in Österreich durch planerische Maßnahmen gänzlich vermieden werden, was in den Modellgebäuden an den untersuchten Standorten realisiert werden konnte. Im Modell-Bürogebäude wird sich ein Kühlbedarf selbst unter Einsatz entsprechender Sonnenschutzeinrichtungen und energieeffizienten Geräten nicht vollständig vermeiden lassen (vgl. Kapitel 6.1.4). Einfache Maßnahmen zur Deckung dieses Kühlbedarfs, wie z. B. Nachtlüftungssysteme und eine gemeinsame Planung mit dem Heizsystem sind anzustreben. Hier erscheint besonders die Kombination einer Photovoltaik-Anlage mit einer Wasser/Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpe als attraktive Lösung, falls Belüftungsmaßnahmen nicht ausreichend sind.

Verschattungsfreie Photovoltaik kann nach den energetischen, ökologischen und ökonomischen Optimierungszielen als elementarer Bestandteil eines Plusenergiegebäudes angesehen werden. Sollte sich die Photovoltaik hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften

und der Preise wie in den vergangenen Jahren weiterentwickeln, wird sie in den nächsten Jahren mit großer Wahrscheinlichkeit eine weite Verbreitung im Gebäudesektor finden.

Für das Erreichen eines Plus-Energie-Gebäudestandards lässt sich folgende Reihenfolge definieren, wobei der Zielerreichungsgrad in hohem Maße vom Gebäudestandort, der zu Beginn gründlich untersucht werden muss, sowie der fachlich einwandfreien Bauausführung vor Ort abhängig ist:

1. **Niedrigstenergiegebäude**
   Energieeffizienz aller Gebäudebauteile ist in der Regel die Grundvoraussetzung (z. B. Gebäudehülle analog Passivhausstandard)
2. **Nutzung passiver Wärmequellen**
   Durch intelligente Planung des Gebäudes sollen passive Wärmequellen wie solare Einstrahlung, Abwärme von Geräten und die Körperwärme von Menschen (und allenfalls Tieren) bestmöglich genutzt werden.
3. **Effiziente Geräteausstattung**
   Eine energieeffiziente Geräteausstattung erhöht durch eine Verringerung der Abwärme zwar den Heizenergiebedarf, senkt gleichzeitig jedoch den Strombedarf des Gebäudes, wodurch man dem Ziel Plus-Energie-Gebäude wiederum einen Schritt näher kommt.
4. **Nutzung erneuerbarer Energiequellen vor Ort**
   Der thermische und elektrische Energiebedarf des Gebäudes sollte primär durch lokal verfügbare, erneuerbare Energiequellen gedeckt werden. Ein Stromüberschuss sollte nach Möglichkeit ins Netz eingespeist werden; gleiches gilt in Abhängigkeit vom Heizsystem für Wärme, sofern ein Wärmenetz vorhanden und die Einspeisung technisch möglich ist.
5. **Lieferung von erneuerbarer Energie**
   In Zeiten, in denen der thermische und / oder elektrische Energiebedarf des Gebäudes nicht durch die Energiequellen vor Ort gedeckt werden kann, sollte elektrische Energie über Stromnetze und thermische Energie abhängig vom Heizsystem durch Fern-, Umgebungswärme oder in Form von Biomasse bezogen werden.
6. **Nutzerverhalten**
   Entscheidend neben der Planung und der qualitativ hochwertigen Ausführung ist im Betrieb der Nutzer. Es ist auch bei den Bewohnern und Nutzern von Gebäuden ein Umdenken im Umgang mit einem Plusenergiegebäude notwendig. Schulungsmaßnahmen und Ausklärungsarbeit können hier einen entscheidenden Beitrag zur Nutzerakzeptanz und –zufriedenheit leisten.

Hinsichtlich der zukünftigen Relevanz von Plus-Energie-Gebäuden ist vor allem die Neubaurate, die in Österreich nur bei 1–1,5% p. a. liegt und die Gebäudesanierung entscheidend. Im Jahr 2050 werden nur etwa 16% der Wohngebäude und 27% der Nicht-Wohngebäude in Österreich jünger als dreißig Jahre sein und den neuesten Gebäudestandards entsprechen werden. Damit liegt, bei ungleich größeren Herausforderungen für die Planung und die Technologie, das wesentlich größere Potential für Plusenergie im Gebäudebestand. Es wird in Zukunft also vor allem auf Lösungen zur Erreichung des Plus-Energie-Standards im Gebäudebestand ankommen. Deutlich wird dies auch in Abbildung 2. Es wird noch einige Jahrzehnte dauern, bis sich Plusenergiegebäude auf den Gesamtgebäudebestand in Österreich signifikant auswirken werden. Je nach Diffusionsrate – in den Szenarien einer geringen, mittleren und hohen Technologiediffusion - werden Plusenergiegebäude einen Anteil von 5% – 21% am österreichischen Gebäudebestand im Jahr 2050 erreichen. Als Diffusionstreiber hin zu einer hohen Verbreitung von Plusenergiegebäuden können in erster Linie Kosteneinsparungen der neuen Technologie (z. B. durch hohe Energiepreise), Förderungen und ordnungspolitische Maßnahmen (z. B. eine ambitionierte Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU) gesehen werden.

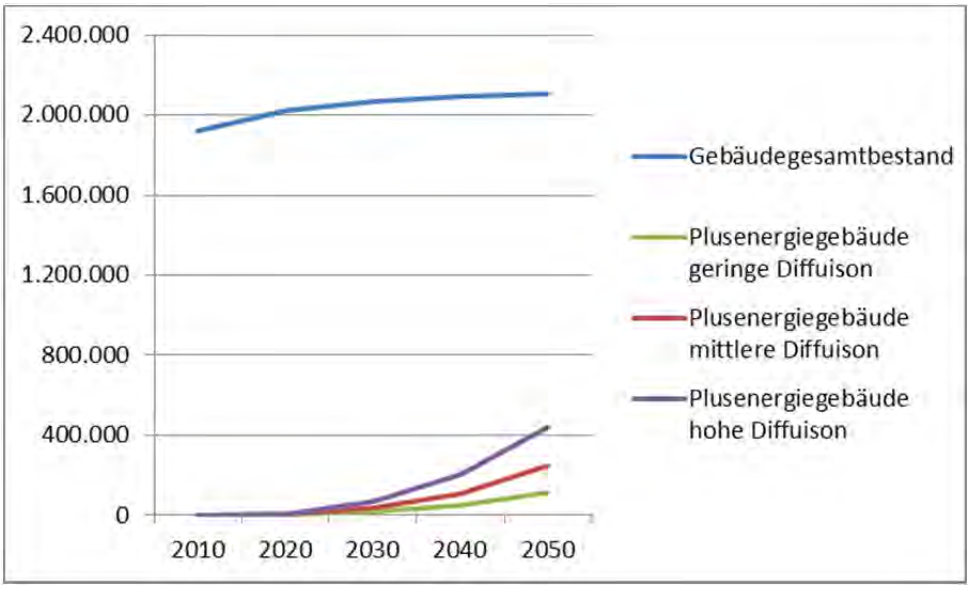


Abbildung 2: Szenarien der Anzahl von Plusenergiegebäuden am österreichischen Gebäudebestand

Je nach Diffusionsszenario werden im Jahr 2050 ca. 100.000 bis 400.000 Wohngebäude bei einer Gesamtzahl von 1,85 Mio. Wohngebäuden durch Neubau und Sanierung Plusenergie-Standard erreichen. Im Bereich der Nicht-Wohngebäude können 8.000 bis 50.000 Plusenergiegebäude bis 2050 erwartet werden. Bei einer Gesamtzahl von etwa 2,1 Mio. Gebäuden in Österreich im Jahr 2050 (vgl. Müller et al, 2010) kann also bis zu einem Fünftel Plus-Energie-Standard erreichen.

3. Einleitung

Mit steigenden Preisen für fossile Energieträger wird die Suche nach Alternativen ökonomisch immer dringlicher, denn die zunehmenden Herausforderungen der derzeit zentral organisierten und großteils auf dem Einsatz fossiler Energieträger basierende Bereitstellung von Energiedienstleistungen erfordert neue Systemansätze in allen gesellschaftlichen Bereichen. Vor allem Verbesserungen im Gebäudebestand (Private Haushalte, Industrie, Landwirtschaft und Dienstleistungssektor) sind hier durch Steigerung der Energieeffizienz und der ökologischen Suffizienz besonders gefordert, da Österreich im Schnitt mehr als 200 Heiztage pro Jahr aufweist und in den warmen Sommermonaten zunehmend ein Bedarf an Raumkühlung besteht. Die sich daraus ableitbaren Sparpotentiale thermischer und elektrischer Energie in Gebäuden sowie die Nutzbarmachung der vorhandenen, natürlichen erneuerbaren Energieressourcen sind für die Sicherung der heimischen Interessen von hervorragender Bedeutung. Neben einem verringerten (fossilen) Energieverbrauch und einem Beitrag zu den österreichischen Klimaschutzzielen seien Stichworte wie Versorgungssicherheit und Technologieführerschaft exemplarisch für positive Nebeneffekte eines verbesserten Gebäudebestands erwähnt[2].

Diese aktuellen Herausforderungen bilden also die Basis für Energieeffizienz und eine nachhaltige Einbindung erneuerbarer Energiesysteme in den Gebäudebestand in Österreich. Die Konzeption energieeffizienter Bauteile mit integrierter, erneuerbarer „Energieproduktion“ in der Gebäudehülle ist damit ein wichtiger Schritt und der zentrale Ansatzpunkt zur Gestaltung eines nachhaltigen Energiesystems durch Nutzung dezentral verfügbarer, erneuerbarer Energiequellen mit einer Verringerung der Treibhausgasemissionen und Verbesserung der Versorgungssicherheit sowie einer deutlichen Erhöhung der Energieeffizienz. Die langfristige Vision ist eine bebaute Umwelt, die vom Energieverbraucher zum Lieferanten von Energie wird und somit dem innovativen Konzept eines Plusenergiegebäudes entspricht.

Es wird also wesentlich sein, inwiefern technische, soziale, ökologische, ökonomische und politische Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Aktivierung der erneuerbaren Energieressourcen und einer energieeffizienten Gebäudearchitektur geschaffen werden und wie sich die verschiedenen Akteure auf diese einstellen. Ein wesentlicher Treiber ist in diesem Zusammenhang die Europäische Union mit den 20-20-20 Zielen und noch ambitionierteren Zielen bis 2050, insbesondere für die Reduktion von Treibhausgasemissionen, die als Ausgangspunkt für den Einsatz gebäudeintegrierter Energiesysteme herangezogen werden können (vgl. u. a. EU SET-Plan, 2011).

[2] Eine aktuelle Studie zur wirtschaftlichen Entwicklung erneuerbarer Energietechnologien in Österreich bietet Bointner et. al. 2012.

3.1. Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

Die Erfahrungen im Gebäudesektor zeigen, dass sich Innovationen nur sehr langsam durchsetzen. Das liegt an der langen Lebensdauer von Gebäuden, die zu einer geringen Neubaurate im Vergleich zum Gesamtgebäudebestand führt und der bis heute oft mangelhaften Information von Bauherren, Planern und Bauunternehmen über die vielfältigen Möglichkeiten zum energieeffizienten Bauen unter Einsatz erneuerbarer Energie. Es ist unter Fortführung des Status-Quo also von einer langsamen Diffusion der Technologien auszugehen, die einen Plus-Energie-Haus-Standard ermöglichen. Dabei liegen die Vorteile dieses innovativen Gebäudestandards auf der Hand. Diese betreffen die Nutzer von Plus-Energie-Gebäuden ebenso, wie die Volkswirtschaft und involvierte Unternehmen.

- Geringe bis keine Brennstoffkosten
- Geringe Gebäude-Betriebskosten
- Ein Höchstmaß an Behaglichkeit und Wohlbefinden
- Viel natürliches Tageslicht durch entsprechende Architektur
- Einsatz ökologisch verträglicher Baumaterialien
- Aktiver Beitrag zum Klimaschutz durch Reduktion von Treibhausgasen
- Ein Höchstmaß an aktiver und passiver Energieeffizienz
- Höhere Versorgungssicherheit mit Energiedienstleistungen durch verringerte Abhängigkeit von fossilen Energieträgern
- Technologieführerschaft österreichischer Spitzenunternehmen durch Nutzung des „First-Mover-Advantage“

Die ersten Vorteile sind dabei als Kundenvorteile zu sehen, während die weiteren volkswirtschaftliche Vorteile sind. Der letzte Punkt bietet durchaus auch betriebswirtschaftlichen Vorteil für heimische Unternehmen. Es ist also ein breites Spektrum an Vorteilen und Chancen für unterschiedliche Zielgruppen gegeben.

Das Programm „Haus der Zukunft Plus“ zielt auf Lösungen für diese Herausforderungen am Weg zum Plusenergie-Gebäude ab. Insbesonders die Energieeffizienz des Gebäudes und die Energiebereitstellung durch die Integration erneuerbarer Energiesysteme sind zentrale Anliegen. *„Die langfristige Vision für das „Gebäude der Zukunft“ ist, die energetische Effizienz bezüglich Produktion und Betrieb derart zu erhöhen, dass über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden die treibhausrelevanten Emissionen in Summe auf Null reduziert werden. Das bedeutet, dass sich das Gebäude in der Betriebsphase vom Verbraucher zum Lieferanten von Energie entwickelt und somit dem Konzept des „Plus-Energie-Hauses“ entspricht“* (vgl. BMVIT 2008, S. 8). Die gegenständliche Arbeit umfasst unterschiedliche Gebäudetypen in einem gesamtheitlichen Ansatz, der nach ökologischen, ökonomischen und energetischen Optimierungskriterien sowohl die Errichtung als auch den Betrieb des Gebäudes, mit dem Ziel Kosten, Treibhausgasemissionen und Energiebedarf zu minimieren, betrachtet. Damit wird durch die Bereitstellung grundlegender Informationen zum Stand der Technik im Gebäudesektor ein strategischer Beitrag zum Gesamtziel des Programms, der *„Entwicklung und Markteinführung oder Marktdurchdringung wirtschaftlich*

umsetzbarer, innovativer technischer und organisatorischer Lösungen im Sinne eines CO2-neutralen Gebäudesektors“ geleistet. *„Damit soll bis 2020 ein signifikanter Beitrag zur Sicherheit zukünftiger Energieversorgung und zur Reduktion der treibhausrelevanten Emissionen im Gebäudesektor geleistet werden“* (vgl. BMVIT 2008, S. 8f).

Entsprechend dieser Zielsetzung werden im gegenständlichen Bericht einzelne Gebäudekomponenten und erneuerbare Energietechnologien zum Einsatz im Gebäude eingehend untersucht. Neben einer architektonischen Optimierung wird auch eine Ökobilanz der eingesetzten Materialien erstellt. Darauf aufbauend wird nach Einbeziehung der Haustechnik und des Stromverbrauchs eine CO_2-Bilanz über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes berechnet. Den Abschluss bilden eine Optimierung des Gesamtkonzepts „Plusenergie-Gebäude“ sowie energiepolitische Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur weiteren Verbreitung der behandelten Schlüsseltechnologien. Mittelfristig werden diese Ergebnisse in der Industrie und im Baugewerbe großflächig Anwendung finden, vor allem durch die Voranbringung entsprechender energie- und baupolitischer Rahmenbedingungen, wie sie durch zahlreiche europäische Rechtsakte gefordert sind (z. B. EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU, Verordnung zu kostenoptimalen Niveaus der EU-Gebäuderichtlinie EU Nr. 244/2012, Erneuerbare Richtlinie 2009/28/EG, Energieeffizienz-Richtlinie 2006/32/EG, Energieeffizienzplan 2011 KOM(2011) 109, EU Low-Carbon-Roadmap 2050, KOM(2011) 112).

In diesem rechtlichen Rahmen liegt auch das besondere Umsetzungs-Potenzial der vorliegenden Arbeit. Sie liefert die Grundlage für diese Weichenstellungen, die rasch getätigt werden müssen, um bis 2020 entsprechende Erfolge hinsichtlich der klimapolitischen 20-20-20-Ziele der EU zu erreichen. Daneben bieten die Ergebnisse auch Grundlagen für anwendungsorientierte Forschung und Versuchsprojekte, in denen die Empfehlungen in der Praxis umgesetzt werden. Unter anderem sind folgende Verbesserungen denkbar, die sich durch die Umsetzung der Resultate des gegenständlichen Projekts ergeben können:

- Optimale Abstimmung der erneuerbaren Energieversorgungssysteme in Plus-Energie-Gebäuden
- Richtlinien für besonders energieeffiziente Gebäudebauteile
- Richtlinien für ökologische Gebäudebauteile
- Empfehlungen zur optimalen Planung von Plus-Energie-Häusern
- Auslegungswerte für Energiespeichersysteme

Langfristig ergibt sich mit den Ergebnissen dieser Studie ein großes Potential zur Generierung von neuen Produkten bzw. Märkten für die österreichische Wirtschaft. Das erlangte Wissen kann direkt in der Entwicklung neuer, innovativer Produkte eingesetzt werden und somit dem Standort Österreich zur Technologieführerschaft in der Gebäudeintegration erneuerbarer Energie und dem Plus-Energie-Gebäude verhelfen. Als Zielmärkte können somit in sachlicher Hinsicht u. a. die Baubranche, EVUs, Architekten, Planungsbüros, Zivilingenieure sowie sämtliche Firmen im Bereich der erneuerbaren Energie angesehen werden. In räumlicher Hinsicht definieren sich die Zielmärkte durch alle

Regionen, in denen die oben genannten Branchen tätig und die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Umsetzung von Plus-Energie-Häusern gegeben sind.

3.2. Beschreibung des Aufbaus der Arbeit

Um Klimaschutzziele erreichen zu können, ist es unerlässlich auf erneuerbare Energieträger, Energieeinsparung und effizienten Energieeinsatz zurück zu greifen. In den letzten Jahren und Jahrzehnten gab es zahlreiche Neu- und Weiterentwicklungen im Hochbau und der Gebäudesanierung, wodurch in einigen europäischen Ländern Niedrigenergie- und Passivbauten bereits zum Gebäudestandard wurden. Die vorliegende Arbeit geht von diesen heutigen Standards noch einen Schritt weiter in Richtung Null-Energie- und Plus-Energie-Gebäuden. Dazu werden technische, ökonomische und ökologische Aspekte zur Implementierung eines Plusenergie-Gebäudestandards sowie nötiger politischer Begleitmaßnahmen zur Steuerung dieses Prozesses analysiert.

Plus-Energie-Gebäude erfordern einen umfassenden Planungsprozess, der bereits bei der Architektur beginnt. Kapitel 5 liefert daher unerlässliche Informationen zur architektonischen Gestaltung des Gebäudes zur Erreichung des Plus-Energie-Standards. Um die Aufgabe der Planer zu erleichtern, werden über die Planung hinaus auch Empfehlungen für die Entwicklung des Städtebaus gegeben, da Plus-Energie-Gebäude an diesen ganz besondere Anforderungen stellen.
Technische, ökonomische und ökologische Aspekte eines Plus-Energie-Gebäudes werden in Kapitel 6 behandelt. Zu Beginn wird ein genauer Blick auf die konstruktiven Gebäudebauteile wie beispielsweise Dächer und Wandaufbauten geworfen. Neben der grauen Energie spielt hier vor allem die konstruktive Langzeitbeständigkeit und die Minimierung von Wärmebrücken eine zentrale Rolle. Durch passende architektonische Lösungen und optimaler Bauteilgestaltung kann der Heizenergiebedarf und Kühlenergiebedarf des Gebäudes weitgehend verringert und bei Wohngebäuden der Kühlenergiebedarf weitgehend vermieden werden. Daneben spielt auch die Verringerung des elektrischen Energieverbrauches im Gebäude eine entscheidende Rolle in diesem Kapitel. Abschließend soll der verringerte Energiebedarf für Wärme und Strom durch lokal verfügbare, erneuerbare Energieträger abgedeckt werden. Die detaillierte Beschreibung dieser Energiequellen bildet den Abschluss dieses Abschnitts.
Erst durch Abstimmung und intelligentes Zusammenspiel aller Systemkomponenten und Bauteile erfolgt unter Einbeziehung der Architektur die optimale Planung und Umsetzung eines funktionierenden Plus-Energie-Gebäudes. Aus diesem Grunde widmet sich Kapitel 7 der Optimierung von Plus-Energie-Gebäuden in energetischer, ökologischer und ökonomischer Sicht anhand von Wohn-, Büro und Gewerbe-Modellgebäuden, die in Kapitel 5 definiert wurden. Nach einer Gesamtoptimierung unter Einbeziehung aller Zielparameter beinhaltet Kapitel 8 neben Schlussfolgerungen insbesondere Empfehlungen zur Weiterverbreitung eines innovativen Plus-Energie-Gebäudestandards. Diese Empfehlungen richten sich an die Bauwirtschaft zur praktischen Umsetzung, an Behörden und Politik zur

Entwicklung von politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie an Forschung und Entwicklung, um die derzeit bestehende Wissensbasis zu erweitern.

Das zentrale Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die gesamte Gebäudehülle in dem Sinne optimal zu gestalten, dass Wärmeverluste minimiert und Gewinne aus der Nutzung erneuerbarer Energie maximiert werden. Dabei werden ökologische, architektonische, städtebauliche und sozioökonomische Aspekte berücksichtigt. Die Ableitung energiepolitischer Handlungsempfehlungen und die anschauliche Darstellung der Ergebnisse für unterschiedliche Gebäudetypen in konkreten Fallbeispielen anhand von Modellgebäuden sind weitere, wesentliche Ziele.

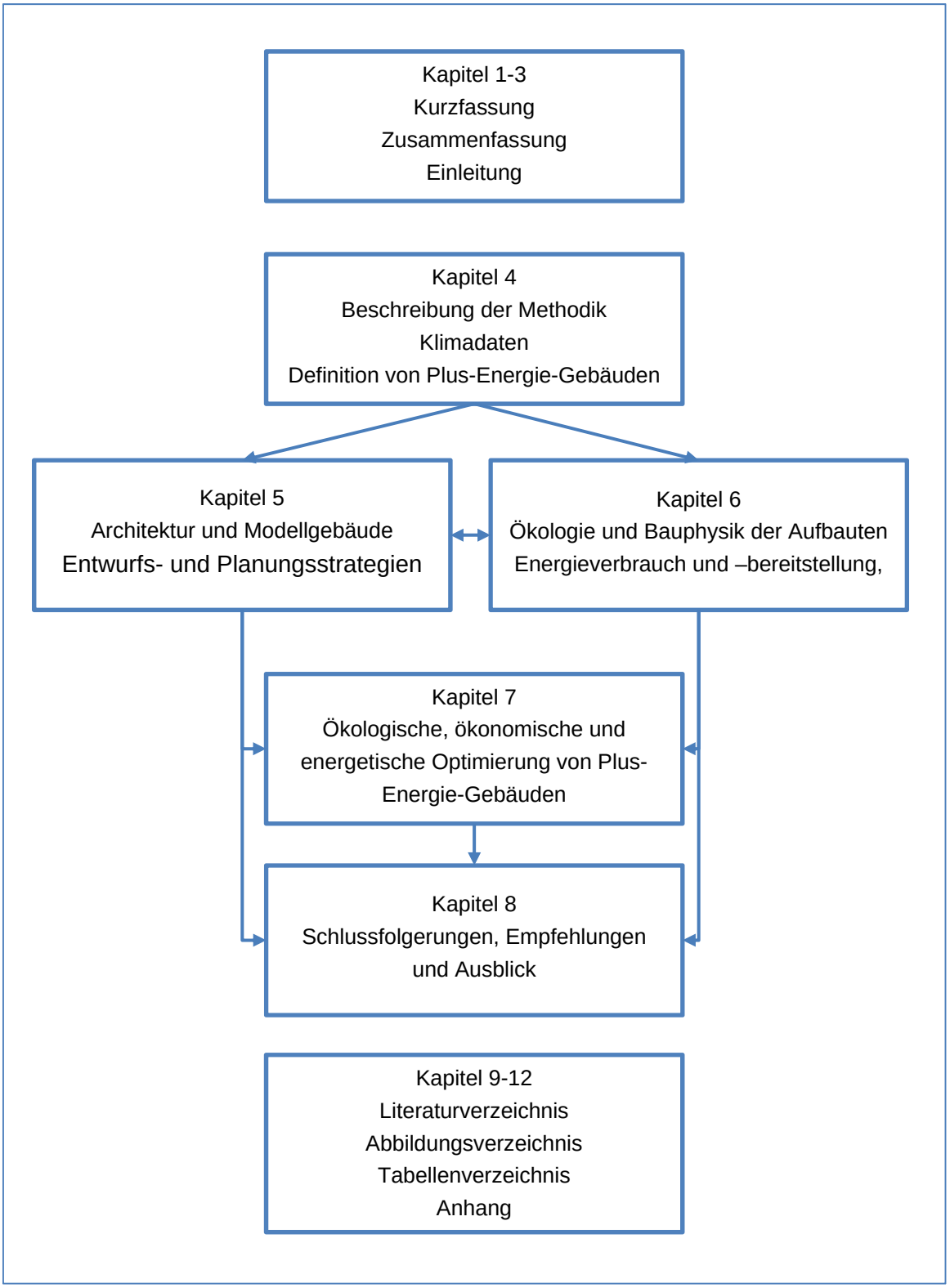


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Studienstruktur und Inhalte

4. Methodik, Definition und Daten

4.1. Entwicklungen im Gebäudesektor und der Haustechnik

4.1.1. Regelungen und Richtlinien

Derzeit ist durch die Bauordnung bzw. durch die OIB Richtlinien ein gewisser Baustandard vorgegeben. Diese Regelungen beschränken, hinsichtlich Energieeffizienz, den Heizwärmebedarf, bei Nichtwohngebäuden den außeninduzierten Kühlbedarf, den Endenergiebedarf, die U-Werte der Aufbauten und die Dämmung von Leitungen und Armaturen. Im Oktober 2011 wurde die neue OIB Richtlinienserie beschlossen. Neu in diesen Auflagen ist die Verschärfung der oben genannten Anforderungen bzw. die Einführung der Konversionsfaktoren um den Einsatz verschiedener Energieträger vergleichbar zu machen. Somit werden im neuen Energieausweis auch der Primärenergiebedarf, die Kohlendioxidemissionen und auch der Gesamtenergieeffizienz-Faktor ausgewiesen und in Klassen eingeteilt. Dabei finden auch der Haushalts- bzw. Betriebsstrombedarf Berücksichtigung.
Auf Landesebene gibt es derzeit noch verschiedene Förderungen für den Bau bzw. die Sanierung von effizienteren Bauten hinsichtlich Gebäude und Haustechnik, um den Baustandard weiter zu verbessern.

4.1.2. Vom Passivhaus zum Plusenergiegebäude

Auch wenn sich der Passivhausstandard noch lange nicht als Norm-Baustandard durchgesetzt hat, so haben doch in den letzten Jahren zahlreiche ausgeführte Pilot- und Vorreiterprojekte gezeigt, dass Passivhausprojekte nicht nur technisch machbar, sondern mittlerweile auch wirtschaftlich durchführbar sind. Das Plus-Energiekonzept kann als konsequente Weiterentwicklung des Passivhaus-Gedankens verstanden werden. Zur Erzielung eines Plus-Energiestandards kann es nicht genügen Gebäude mit erneuerbaren Energiesystemen auszurüsten. Vielmehr müssen regenerative Energien hier als Teil eines Gesamtenergiekonzeptes verstanden werden, das in einem integralen Planungsprozess unter Berücksichtigung bauphysikalischer und humanökologischer Aspekte erarbeitet wird.

Bereits seit Beginn der Passivhaus-Entwicklung Anfang der 1990er Jahre wurden die errichteten Passivhaus-Objekte nicht nur immer wieder auch mit regenerativen Energieträgertechnologien wie Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpen, usw. ausgestattet, es entstanden auch sehr früh erste Pionierprojekte, die eine ausgeglichene Energiebilanz oder gar Energieautarkie anstrebten. Dabei handelte es sich bei den ersten Objekten hauptsächlich um zu Forschungszwecken errichtete Einfamilienhäuser. Mit der Weiterentwicklung der erforderlichen Technologien wurden jedoch zunehmend auch bei größeren Wohngebäuden und energieintensiveren Gebäudetypen wie Bürogebäuden, Schulen oder Gewerbebauten eine Null- oder Plus-Energiebilanz angestrebt.

In den letzten Jahren rückte schließlich vermehrt die dringende Notwendigkeit der energetischen Verbesserung des Gebäudebestandes in den wissenschaftlichen Fokus und so wurden entsprechende Konzepte entwickelt und bereits erste Plusenergie-Sanierungsprojekte durchgeführt.

4.1.3. Ist-Stand im innovativen Gebäudebereich: Strategien und Konzepte

Im Rahmen des IEA Forschungsprogrammes „Towards Net Zero Energy Solar Buildings" (SHC Task40/ECBCS Annex 52) wurden 2010 weltweit über 280 Null- oder Plus-Energiegebäude nach unterschiedlichsten wissenschaftlichen, aber auch populären Definitionen erfasst. Mehr als ein Drittel der dabei dokumentierten Objekte wurde im deutschsprachigen Raum errichtet. Der Großteil der Gebäude befindet sich in Europa, in den USA und in Kanada (vgl. Musall et al. 2010, S.3). Unter diesen Objekten befinden sich verschiedenste Gebäudetypen mit ganz unterschiedlichen Nutzungsanforderungen. Sie liegen in unterschiedlichen Klimaregionen und wurden mit individuellen Energiekonzepten für verschiedene Plusenergiedefinitionen und Bilanzierungsmethoden realisiert. Dennoch lassen sich einige Gemeinsamkeiten zwischen den einzelnen Projekten erkennen und häufig angewandte Strategien und Maßnahmen zur Erreichung einer ausgeglichenen oder positiven Energiebilanz beobachten:

1. An erster Stelle steht dabei die Optimierung der Energieeffizienz des Gebäudes durch Maßnahmen wie eine sehr gute Wärmedämmung, effiziente Wärmerückgewinnung, Kompaktheit des Baukörpers und die gezielte Nutzung von Speichermasse und passiven Solarenergiegewinnen. Auch durchdachte Strategien zur natürlichen Belichtung, Belüftung und Kühlung, sowie die geschickte Anordnung unterschiedlicher Nutzungsbereiche und Temperaturzonen tragen zur Energieeffizienz von Gebäuden bei.
2. Ein weiteres Maßnahmenbündel betrifft die konsequente Reduktion des Energiebedarfs durch den Einsatz energieeffizienter Gebäudetechnik, effizienter Beleuchtung und energiesparender Verbrauchsgeräte. Intelligente Regelungstechnik und elektrisches Lastmanagement spielen hier eine zunehmende Rolle.
3. Für eine weitere Reduktion und den Ausgleich des verbleibenden Energiebedarfs ist schließlich die Einbindung regenerativer Energiesysteme in das Gesamtkonzept erforderlich. Der Bilanzausgleich erfolgt in den meisten Fällen mit Hilfe von Photovoltaik und Solarthermie. Seltener kommen Windkraft, Biomasse und Wärmepumpen zur Nutzung der Erd- und Umgebungswärme zum Einsatz (vgl. Musall et al. 2010, S.7).

4.1.4. Herausforderungen für Architekten und Planer

Die Gebäudeintegration erneuerbarer Energieträgertechnologien stellt Architekten, Städtebauer und Raumplaner vor ganz neue Herausforderungen. Der Umgang mit neuen Technologien und Materialien erfordert neue räumliche, technische und gestalterische Lösungsansätze, ebenso wie auch eine Weiterentwicklung der bestehenden Planungsstrategien und Gestaltungskonzepte. Damit wirtschaftliche und zugleich räumlich

und architektonisch überzeugende Gesamtlösungen entstehen können, ist die Berücksichtigung integrierter Energieträgertechnologien in einem frühen Planungsstadium notwendig.

Im Rahmen des Forschungsprojektes Gebäudeintegration wurden dazu erforderliche Grundlageninformationen recherchiert und zusammengestellt und entsprechende Ansätze entwickelt. Der im Rahmen des Projektes entwickelte Leitfaden (siehe Anhang) soll außerdem Planer, Architekten und Bauherren bei Projekten mit geplantem Einsatz regenerativer Energieträger schon im Grundlagenermittlungsstadium, sowie in der Vorentwurfs- und Entwurfsphase bei der Entscheidungsfindung unterstützen und durch Vermittlung des erforderlichen Basiswissens die Zusammenarbeit und Kommunikation mit Fachplanern erleichtern.

4.2. Definition von Plusenergie-Gebäuden

4.2.1. Was bedeutet „Plusenergie“?

Gebäude- oder Siedlungsprojekte, die einen Ausgleich des durch die Nutzung bedingten Primärenergiebedarfs oder der damit verbundenen CO_2-Emissionen in einer jährlichen Bilanz anstreben, werden häufig mit der Bezeichnung *Plusenergie* gekennzeichnet. Daneben kommen auch Bezeichnungen wie *Nullenergiehaus* oder *Nullemissionshaus*, und im internationalen Sprachraum auch *net zero energy building (NZEB)*, *zero carbon building*, *carbon neutral* oder *equilibrium building* zur Anwendung. Tatsächlich existiert jedoch für den Gebäudestandard *Plusenergiehaus* bisher keine einheitlich anerkannte oder gar standardisierte Definition.

Im Leitfaden zur 2. Ausschreibung der Programmlinie Haus der Zukunft Plus (BMVIT 2009, S. 8) wird ein „Plus-Energie-Gebäude“ als ein Gebäude definiert, „*dessen jährlicher Primärenergieverbrauch vor dem Hintergrund höchster Energieeffizienz unter der vor Ort produzierten erneuerbaren Energie liegt. Unter „vor Ort“ wird innerhalb der Grenzen der Siedlung oder des Gebäudes bzw. in unmittelbarer Nachbarschaft hierzu verstanden.*“ Das Gebäude muss sich also mit Hilfe regenerativer Energiesysteme „*in der Betriebsphase vom Verbraucher zum Lieferanten von Energie*“ entwickeln.

Während bei energieautarken Gebäuden die Energieversorgung durch eine entsprechende Dimensionierung des Energiesystems und der Energiespeicher zu jedem Zeitpunkt sichergestellt sein muss, wird bei Plus- oder Nullenergiekonzepten eine ausgeglichene Energiebilanz über den Zeitraum eines Jahres angestrebt. Eine ganz wesentliche Rolle beim Ausgleich der tageszeitlichen und saisonalen Abweichungen von Energieangebot und –nachfrage spielt daher die Kopplung an ein bestehendes Energieversorgungsnetz (vgl. Voss 2008, S. 3), das die Aufgabe des Energiespeichers übernimmt.

Bei den meisten realisierten Plus-Energieprojekten wird erzeugter Eigenstrom in das öffentliche Stromnetz eingespeist um die Gesamtjahresbilanz auszugleichen. Grundsätzlich ist jedoch auch ein Bilanzausgleich z.B. durch die Wärmeeinspeisung in Nahwärmenetze vorstellbar. In jedem Fall bildet höchste Energieeffizienz in allen Bereichen die

Voraussetzung zur Konzeptionierung eines Plus-Energiegebäudes. Nur durch eine konsequente Minimierung des Energiebedarfs kann der sogenannten „Mismatch“ und die damit verbundene Netzbelastung niedrig gehalten werden (vgl. Abbildung 4).

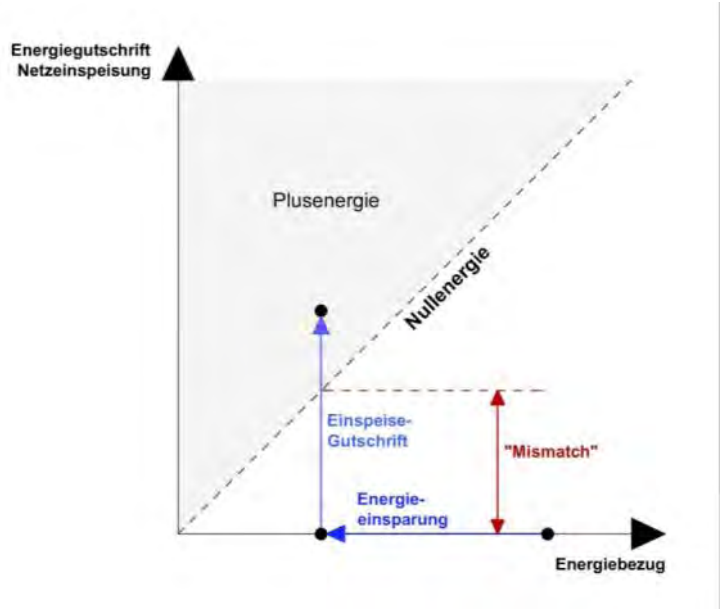


Abbildung 4: Grafische Darstellung des Plusenergiekonzeptes. Der Energiebedarf des Gebäudes wird durch gezielte Energieeinsparungsmaßnahmen reduziert und durch am Standort produzierte Energie gedeckt. Überschussenergie wird ins (Strom-)netz eingespeist, Unterdeckungen durch Energiebezug kompensiert. Die Differenz zwischen Energiebereitstellung und Energiebezug aus dem Netz für eine ausgeglichene Bilanz wird auch als „*Mismatch*“ – eine Diskrepanz - bezeichnet. Je geringer dieser Mismatch ausfällt, desto geringer ist auch die Beanspruchung des Netzes.

4.2.2. Bestehende Definitionsansätze

Wie weiter oben bereits erwähnt wurde, existiert bisher keine einheitliche Auffassung eines Gebäudestandards Plusenergie. Verschiedene Ansätze zur Definition eines Plus-Energiestandards unterscheiden sich etwa in Bezug auf die Festlegung von Systemgrenzen bei der Energiebereitstellung, die Art der Bilanzierung, die bei der Bilanzierung berücksichtigten Größen und den Bilanzierungszeitraum, sowie die Auswahl der für die Bilanzierung verwendeten Konversionsfaktoren (vgl. Marszal et al. 2011 und Sartori et al. 2010).

4.2.2.1. Systemgrenzen der Energiebereitstellung

Niedrigstenergiegebäude, wie sie in der EU Gebäuderichtlinie von 2010 (Richtlinie 2010/31/EU) definiert werden, sollen ihren geringen Energiebedarf zu einem wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen, sowie Energie die am Standort oder in der Nähe aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird, decken. Damit ergeben sich bei der Bilanzierung unterschiedliche Möglichkeiten die Systemgrenzen für die Energiebereitstellung zu ziehen.

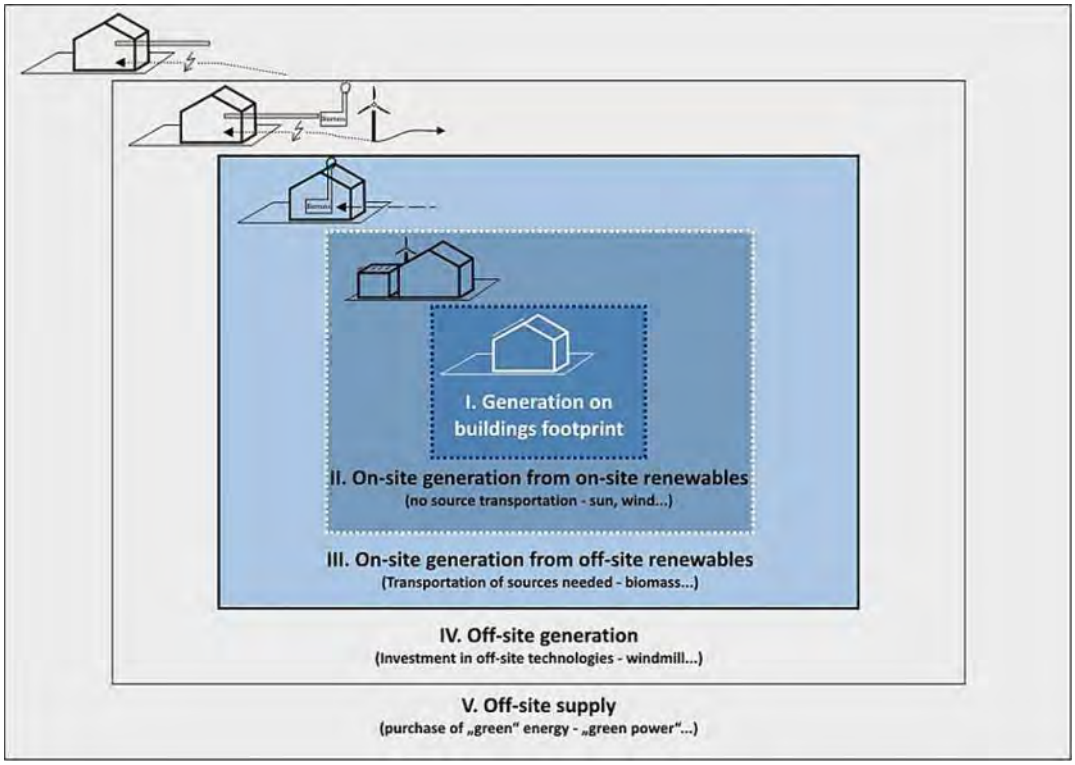

I. Generation on buildings footprint
II. On-site generation from on-site renewables
(no source transportation - sun, wind...)
III. On-site generation from off-site renewables
(Transportation of sources needed - biomass...)
IV. Off-site generation
(Investment in off-site technologies - windmill...)
V. Off-site supply
(purchase of „green" energy - „green power"...)

Abbildung 5: Mögliche regenerative Energieversorgungsmaßnahmen und Systemgrenzen zur Bilanzierung von Plus-Energiegebäuden (Quelle: Marszal et al. 2011, S. 5)

Zunächst lässt sich unterscheiden ob die erneuerbaren Energiequellen am Standort selbst verfügbar sind (Solarenergie, Windenergie, …), oder ob Energiequellen außerhalb des Standortes genutzt werden (antransportierte Biomasse, Energie aus Großwasserkraft oder von Windparks die sich nicht am Standort befinden, …). Bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen am Standort kann weiter unterschieden werden, ob die Energie am Gebäude selbst (z.B. durch gebäudeintegrierte PV oder Solarthermie) oder am dazugehörigen Gelände (z.B. mit Kleinwind- und –wasserkraft oder PV am Grundstück) erzeugt wird.

Stammen die genutzten regenerativen Energiequellen nicht vom Gebäudestandort, so lässt sich differenzieren, ob erneuerbare Energieträger wie Biomasse zum Standort transportiert werden, oder ob Energie aus Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung zugekauft wird (z.B. „Ökostrom“) bzw. Investitionen in solche Anlagen getätigt werden (siehe Abbildung 5). Diese Unterscheidung wurde 2006 von Torcellini et al. vorgeschlagen und zugleich auch in eine empfohlene Reihenfolge zur Wahl regenerativer Energieversorgungsmaßnahmen gebracht:

Maßnahmen Nr.	Energieversorgungsmaßnahmen	Beispiele
0	Reduktion des Energieverbrauchs durch optimierte Gebäudebauteile	Natürliche Belichtung, energieeffiziente Gebäudetechnik, natürliche Belüftung
	Energiebereitstellung am Grundstück	
1	Nutzung erneuerbarer Energiequellen an der Gebäudehülle	PV, Solarthermie und Kleinwindkraft am Gebäude
2	Verwendung erneuerbarer Energiequellen am Gebäudegrundstück	PV, Solarthermie, Kleinwind- und Kleinwasserkraft am Grundstück
	Energiebereitstellung durch externe Quellen	
3	Energieerzeugung am Grundstück unter Einsatz zugelieferter, erneuerbarer Energieträger	Biomasse, Pellets, Ethanol oder Biodiesel, vor Ort entstehende Abfallströme, die zur Erzeugung von Strom oder Wärme genutzt werden können
4	Ankauf von erneuerbarer Energie oder von Zertifikaten	Ökostrom aus z. B. Wind oder Photovoltaik, Fernwärme aus Biomasse, Ankauf von Emissionszertifikaten oder Umweltzertifikaten

Tabelle 1: Hierarchische Darstellung der empfohlenen Energieversorgungsmaßnahmen für Null- oder Plus-Energiegebäude nach Torcellini et al. 2006, S.3

Bei der Festlegung der Systemgrenzen muss nicht zuletzt auch entschieden werden, ob die Bilanzierung für ein einzelnes Gebäude oder eine Gebäudegruppe (eine Siedlung oder einen ganzen Stadtteil) erfolgt. Wird eine ganze Gebäudegruppe betrachtet, so können und müssen auch gemeinschaftliche Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung oder interne Energieversorgungsnetzte (z.B. Nahwärmenetz, …) bei der Bilanzierung berücksichtigt werden.

4.2.2.2. Definition über die Energiebilanz

Bilanzierungszeitraum

In den meisten gängigen Plus-Energie-Definitionen beträgt der Bilanzierungszeitraum ein Jahr. Ein Plus-Energie-Gebäude muss also im Laufe eines Jahres mehr Energie in ein Energieversorgungsnetz einspeisen als es daraus bezieht. Theoretisch sind auch andere Bilanzierungszeiträume - z.B. eine monatliche Bilanzierung, oder eine Bilanzierung über den ganzen Lebenszyklus des Gebäudes - denkbar. Da die Nutzung von Sonnenenergie für die meisten Plus-Energiekonzepte eine wesentliche Rolle spielt und es dadurch in vielen Klimaregionen zu starken saisonale Schwankungen bei der Energieerzeugung kommt, bietet sich eine Bilanzierung auf Jahresbasis für unsere Breitengrade an.

Systemgrenzen der Energiebilanz

Gängige Auffassungen von Plus-Energiegebäuden unterscheiden sich auch in Bezug auf die Festlegung der Bilanzgrenzen, also in Bezug darauf welche Größen in der Energiebilanz berücksichtigt werden. Einige Definitionsansätze betrachten hier lediglich den mit dem

Gebäudebetrieb verbundenen Energiebedarf (Heizung, Klimatisierung und Hilfsenergie), während andere Ansätze auch Energielasten berücksichtigen, die mit der Gebäudenutzung zusammenhängen (Beleuchtung, Warmwasser, Elektrogeräte, …). Besonders ambitionierte Plus-Energiedefinitionen berücksichtigen bei der Bilanzierung auch die im Gebäude enthaltene graue Energie, jene Energie also, die für Herstellung, Transport und Entsorgung der Baustoffe und Materialien, sowie für Herstellung, Abbruch und Entsorgung des Gebäudes benötigt wird.

Art der Bilanzierung und Konversionsfaktoren

Ein weiterer Punkt in dem Plus-Energie-Definitionen voneinander abweichen ist die Art der Bilanzierung bzw. in welchem „Maßstab" die Bilanzierung erfolgt. Von Torcellini et al. wurden 2006 vier häufig verwendete Bilanzierungsmethoden definiert und mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen dargestellt (siehe auch Tabelle 2):

Bei der einfachsten Art der Bilanzierung wird die im Bilanzierungszeitraum bezogene Endenergie der im gleichen Zeitraum eingespeisten Energiemenge direkt gegenübergestellt (Site ZEB). Bei rein strombetriebenen (also auch strombeheizten) Gebäuden ist diese Art der Bilanzierung relativ problemlos anwendbar. Schwieriger wird es, wenn bei der Bilanzierung unterschiedliche Energieträger berücksichtigt werden sollen - wenn also das Gebäude beispielsweise mit Erdgas oder Holzpellets beheizt wird, wenn nicht nur Strom, sondern auch Wärmeenergie importiert oder exportiert wird (Fern- oder Nahwärme), oder wenn zwischen „Öko"- und „Normalstrom" unterschieden werden soll.

Die am häufigsten angewandte Bilanzierungsmethode besteht daher darin, nicht die bezogene und eingespeiste Endenergie, sondern die jeweiligen Primärenergiemengen zu betrachten (Source ZEB). Dazu werden die importierten und exportierten Energiemengen mit einem Primärenergiefaktor multipliziert. Da die jeweiligen Konversionsfaktoren einen erheblichen Einfluss auf das Bilanzergebnis haben können, müssen sie sehr sorgfältig ausgewählt werden.

Ähnliches gilt für einen weiteren Definitionsansatz, bei dem nicht die Energiemengen, sondern die damit verbundenen CO_2-Emissionen betrachtet werden (Emissions-ZEB, Null-Emissionshaus). Die bezogenen und eingespeisten Energiemengen werden daher vor der Gegenüberstellung mit entsprechenden CO_2-Konversionsfaktoren multipliziert. Schließlich besteht auch die Möglichkeit Energiekosten mit Gewinnen aus der Netzeinspeisung aufzurechnen (Cost-ZEB).

Definition	Pluses	Minuses	Other Issues
Site ZEB	Easy to implement. Verifiable through on-site measurements. Conservative approach to achieving ZEB. No externalities affect performance, can track success over time. Easy for the building community to understand and communicate. Encourages energy-efficient building designs.	Requires more PV export to offset natural gas. Does not consider all utility costs (can have a low load factor). Not able to equate fuel types. Does not account for non-energy differences between fuel types (supply availability, pollution).	
Source ZEB	Able to equate energy value of fuel types used at the site. Better model for impact on national energy system. Easier ZEB to reach.	Does not account for non-energy differences between fuel types (supply availability, pollution). Source calculations too broad (do not account for regional or daily variations in electricity generation heat rates). Source energy use accounting and fuel switching can have a larger impact than efficiency technologies. Does not consider all energy costs (can have a low load factor).	Need to develop site-to-source conversion factors, which require significant amounts of information to define.
Cost ZEB	Easy to implement and measure. Market forces result in a good balance between fuel types. Allows for demand-responsive control. Verifiable from utility bills.	May not reflect impact to national grid for demand, as extra PV generation can be more valuable for reducing demand with on-site storage than exporting to the grid. Requires net-metering agreements such that exported electricity can offset energy and non-energy charges. Highly volatile energy rates make for difficult tracking over time.	Offsetting monthly service and infrastructure charges require going beyond ZEB. Net metering is not well established, often with capacity limits and at buyback rates lower than retail rates.
Emissions ZEB	Better model for green power. Accounts for non-energy differences between fuel types (pollution, greenhouse gases). Easier ZEB to reach.		Need appropriate emission factors

Tabelle 2: Vor- und Nachteile häufig verwendeter Bilanzierungsmethoden nach Torcellini et al. (Quelle: Torcellini et al. 2006, S. 11)

4.2.3. Gewählte Definition von Plusenergie-Gebäuden

Im Leitfaden zur 2. Ausschreibung der Programmlinie Haus der Zukunft Plus (BMVIT 2009, S. 8) wird ein „Plus-Energie-Gebäude“ als ein Gebäude definiert, „*dessen jährlicher Primärenergieverbrauch vor dem Hintergrund höchster Energieeffizienz unter der vor Ort produzierten erneuerbaren Energie liegt. Unter „vor Ort“ wird innerhalb der Grenzen der Siedlung oder des Gebäudes bzw. in unmittelbarer Nachbarschaft hierzu verstanden.*“ Der gesamte Energiebezug vom Netz (alle Energieträger) wird somit durch die am Standort produzierte Energie abgedeckt. Auch der Beleuchtungsenergiebedarf und der Haushalts- bzw. Betriebsstrombedarf werden einberechnet.

Plusenergie-Gebäude, in den Systemgrenzen einer Energiebereitstellung vor Ort, weisen unter Berücksichtigung sämtlicher Energieströme im Gebäudebetrieb über den Bilanzierungszeitraum von einem Jahr einen Energieüberschuss in der Eigenenergiebereitstellung auf. Allfällig auftretende Defizite der Eigenenergiebereitstellung innerhalb der Bilanzierungsperiode werden durch Bezug aus einem Energieversorgungsnetz abgedeckt und durch die Einspeisung von Energieüberschüssen kompensiert, wobei primärenergetische Konversionsfaktoren zum Einsatz kommen.

In der Arbeitsgruppe „IEA Annex 53 – Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods“ werden Rechenmethoden und Validierungsmethoden für Plusenergiegebäude ausgearbeitet und validiert. Ergebnis dieser Arbeit ist eine exakte Definition der Bilanzierungsgrenzen:

- Bilanzgrenze E_d Siedlung
- Bilanzgrenze E_t Gebäudetechnisches System
- Bilanzgrenze E_b Bedarf

In der OIB Richtlinie Teil 6 werden die gleichen Bilanzgrenzen E_b für Bedarf und E_t für das gebäudetechnische System verwendet. An der Bilanzgrenze E_t (auch Grundstücksgrenze) besteht die Möglichkeit auf Primärenergie zu konvertieren. Die in diesem Projekt eingesetzten Konversionsfaktoren werden in Kapitel 4.4 näher beschrieben. Abbildung 6 zeigt die exakte Definition der Bilanzgrenzen eines Plusenergiegebäudes gemäß IEA, Annex 53, wie sie in der vorliegenden Arbeit verwendet werden.

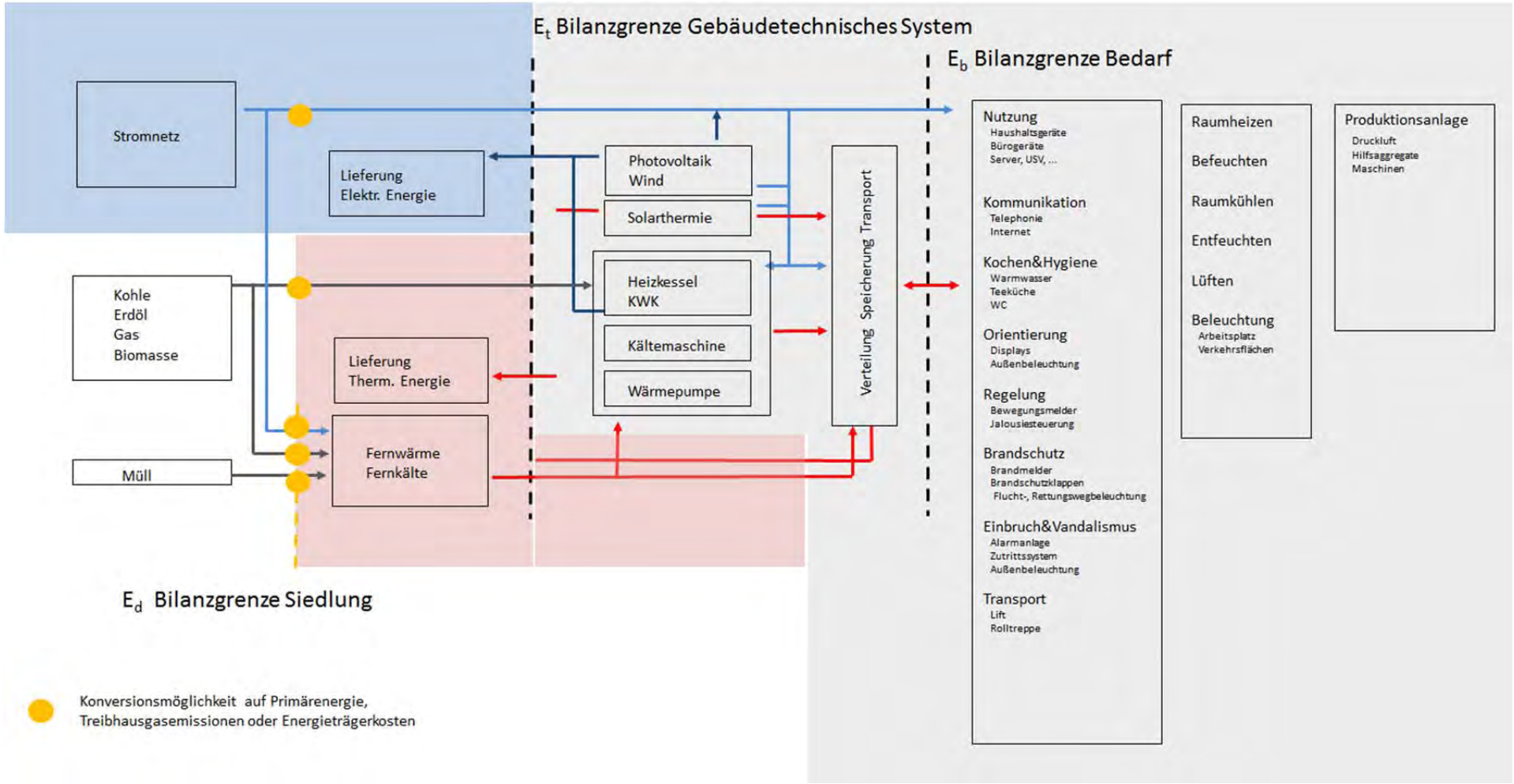


Abbildung 6: Bilanzierungsgrenzen eines Plusenergiegebäudes; Quelle: IEA Annex 53

4.3. Methodik

Zur Ermittlung der Optimierungspotentiale von Plusenergiegebäuden wurde eine Analyse der architektonischen Rahmenbedingungen für die Konzeption hocheffizienter Gebäude-Energiesysteme mittels Simulation an unterschiedlichen Modellgebäuden durchgeführt. Die Entwicklung dieser Modellgebäude folgt dabei folgendem Schema:

- Untersuchung und Beschreibung optimaler architektonischer Rahmenbedingungen für die Konzeption hocheffizienter Gebäude-Energiesysteme
- Entwicklung repräsentativer Modellgebäude: Einfamilienhaus, Kleingartenwohnhaus, Reihenhaus, Mehrfamilienhaus, Bürogebäude und Fabrikgebäude
- Auswahl verschiedener Gebäudestandorte in Österreich um den Einfluss der klimatischen Gegebenheiten (Außenklima) auf die Plusenergiegebäude quantifizieren zu können. Dem Standort kommt in der Möglichkeit Plusenergie-Standard zu erreichen entscheidender Einfluss zu.
- Aufbereitung geeigneter Klimadatensätze, sog. „Halbsynthetischer Klimadaten“ für die thermische Gebäudesimulation zur Ermittlung der Auswirkung von planerischen Maßnahmen auf den Energiebedarf des Gebäudes sowie für die Prognose der Effizienz aktiver Energieerzeugungssysteme.

Die Ausarbeitung der Modellgebäude spielte dabei zusammen mit den gewählten Aufbauten, der Energieversorgungssysteme, der Orientierung des Gebäudes sowie der Ausstattung an elektrischen Verbrauchern eine entscheidende Rolle in der Berechnung. Diese Berechnung wurde mit Hilfe eines an der Technischen Universität Wien entwickelten Plusenergiegebäude-Programmes berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Kapitel 7 ausführlich beschrieben.

Die Grundlage der energetischen Bedarfsberechnungen dieses Plusenergiegebäude-Programmes bilden die ÖNORM Serie B 8110 und H 50XX. Der große Unterschied im Vergleich zur vorliegenden Arbeit besteht darin, dass nicht mit dem Monatsbilanzverfahren, sondern mit Stundenwerten gerechnet wird. D.h. der Strombedarf sowie Stromerzeugung, Wärmebedarf und Wärmeerzeugung wird für jede Stunde des Jahres ermittelt. Daraus resultiert auch die Erfordernis von Klimastundendaten (vgl. Kapitel 4.5). Der Vorteil der stundenweisen Bilanzierung liegt darin, dass man für jede Stunde des Jahres den Energieimport und –export bestimmen kann. Dafür ist es notwendig auch die Bereitstellungssysteme auf Stundenbasis zu simulieren. Diese Systeme und deren Berechnungsalgorithmen sind in Kapitel 6.6 dargestellt. Es wird ein Einzonenmodel verwendet.

Für die Ermittlung des Heizbedarfs wurden folgende Formeln angewendet:

$$\theta_{i,hour} = \theta_{i,hour-1} + (Q_{g,hour} - Q_{l,hour}) / C \quad [°C] \quad (1)$$

$\theta_{i,hour}$ mittlere Innentemperatur in der jeweiligen Stunde in °C
$Q_{g,hour}$ gesamte Wärmegewinne der jeweiligen Stunde in W
$Q_{l,hour}$ gesamte Wärmeverluste der jeweiligen Stunde in W
C die wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes in Wh/K

Die stündlichen Wärmeeinträge setzen sich wie folgt zusammen:

$$Q_{g,hour} = Q_{s,hour} + Q_{heiz,hour} + Q_{i,hour} + Q_{H,hour} \quad [W] \quad (2)$$

$Q_{s,hour}$ solare Gewinne der jeweiligen Stunde in W
$Q_{heiz,hour}$ Heizleistung der jeweiligen Stunde in W
$Q_{i,hour}$ innere Wärmegewinne der jeweiligen Stunde in W
$Q_{H,hour}$ zurückgewinnbare Verluste der jeweiligen Stunde in W

Die stündlichen Wärmeverluste summieren sich aus

$$Q_{l,hour} = Q_{T,hour} + Q_{V,hour} + Q_{HT,hour} \quad [W] \quad (3)$$

$Q_{T,hour}$ Transmissionswärmeverluste der jeweiligen Stunde in W
$Q_{V,hour}$ Lüftungswärmeverluste der jeweiligen Stunde in W
$Q_{HT,hour}$ Verluste der Haustechnik der jeweiligen Stunde in W

Der Heizbedarf ergibt sich aus der Aufsummierung der einzelnen Stundenwerte der Heizleistung. Die Heizleistung in der jeweiligen Stunde ergibt sich folgendermaßen: Wird der Grenzwert der Solltemperatur unterschritten so wird in dieser Stunde ein Wärmeeintrag durch das Heizungssystem generiert. Durch die Verwendung des Einzonenmodells wird der Heizwärmebedarf etwas unterschätzt. Genauere Informationen über den Umfang dieser Unterschätzung können bei Sofic, 2009 nachgeschlagen werden.

Neben der energetischen Gebäudesimulation sind Ökologie und Ökonomie grundlegende Bestandteile der Optimierungen in der vorliegenden Arbeit. Zur Bewertung der Ökologie dienen in erster Linie der Primärenergiebedarf des Gebäudes, das Versauerungspotential und das CO_2-Äquivalent an Treibhausgasemissionen. Die Grundlagen zur ökologischen Berechnung von Plusenergiegebäuden sind im nachfolgenden Kapitel 4.4 und den in Kapiteln 6.3 - 6.6 ausführlich dargestellt. Die ökonomische Optimierung erfolgt unter Berücksichtigung von Investitions- sowie Reinvestitionskosten, von Wartungs- und Betriebskosten sowie allfälligen Erlösen aus dem Verkauf von Strom für einen Betrachtungshorizont bis 2050 nach der Barwertmethode gemäß der Formel

$$PV_0 = C_{inv,0} + \sum_{j=1}^{k} C_{inv,j} * (1+z)^{-ND_j} + \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=0}^{n} C_{O\&M,j} * (1+z)^{-i} + \sum_{i=0}^{n} C_{el} * (1+z)^{-i} - \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=0}^{n} R_j * (1+z)^{-i}$$

[EUR] (4)

- PV_0 Barwert der Investition (Present Value) zum Zeitpunkt null in EUR
- $C_{imv,0}$ Errichtungskosten in EUR
- $C_{imv\,j}$ Einmalige Reinvestitionskosten des Energiebereitstellungssystems j in EUR im Betrachtungszeitraum bis 2050 (vgl. Kapitel 6.6)
- k Anzahl der verfügbaren Energiebereitstellungssysteme
- z Zinssatz des Kapitals in %
- ND_j Nutzungsdauer des Energiebereitstellungssystems j in Jahren
- $C_{O\&M,j}$ Jährliche Wartungs- und Betriebskosten des Energiebereitstellungssystems j in EUR
- n Anzahl der Jahre (2012 bis 2050)
- C_{el} Jährliche Stromkosten der Gebäudetechnik und Elektrogeräte in EUR
- R_j Jährliche Erlöse aus dem Stromverkauf des Energiebereitstellungssystems j in EUR (nur zutreffend bei Photovoltaik und Windkraft)

mit

$$C_{inv,0} = C_{Bau} + \sum_{j=1}^{k} k_{Invest,j} * P_j$$

[EUR] (5)

- C_{Bau} Errichtungskosten des Gebäudes in EUR; es werden die Kostengruppen 320 bis 369 lt. DIN 276-1, d.h. das Bauwerk mit Gründung, Außenwände, Decken und Dächer, berücksichtigt. Nicht berücksichtigt bei den Errichtungskosten werden die Baugrube, das Verteilsystem für Warmwasser und Heizung, Pumpen, Lüftungsanlagen und Kühlung und dgl. (vgl. Kapitel 6.4 und Kapitel 7).
- k_{Invest} Spezifische Investitionskosten des Energiebereitstellungssystems j in EUR/kW lt. Formel 11
- P_j Anlagenleistung des Energiebereitstellungssystems j in kW

und mit $C_{O\&M,j} = C_{F_D,j} + C_{F_I,j} + C_{Inj,j} + C_{M,j}$ [EUR] (6)

- $C_{FD,j}$ Jährliche direkte Brennstoff- und Stromkosten des Energiebereitstellungssystems j in EUR
- $C_{FI,j}$ Jährliche indirekte Brennstoffkosten des Energiebereitstellungssystems j in EUR (z. B. Lagerkosten, Lieferkosten)
- $C_{Inj,j}$ Jährliche Versicherungskosten des Energiebereitstellungssystems j in EUR
- $C_{M,j}$ Jährliche Wartungskosten des Energiebereitstellungssystems j in EUR

Bei den Aufbauten wird bis zum Jahr 2050 von keinen Reinvestitionskosten ausgegangen, für Systeme zur Energiebereitstellung sind die Reinvestitionskosten in Abhängigkeit von der Lebensdauern und der allgemeinen Preisentwicklung der Technologie in Kapitel 6.6 definiert. Dort finden sich ebenfalls Angaben zu den Brennstoffkosten für Gas, Pellets und Fernwärme in den jeweiligen Unterkapiteln. Die Stromkosten werden in Kapitel 6.5 näher erläutert. Die, für die Berechnung der jährlichen Betriebskosten der Energiebereitstellungstechnologien, nötige Kapitalverzinsung beträgt 6% und die jährliche Inflationsrate 1,93%. Diese bildet den statistischen Mittelwert der allgemeinen Preisentwicklung der letzten 10 Jahre, berechnet mit Hilfe des Verbrauchpreisindex des Jahres 2000 der Statistik Austria (VPI 2000).

Neben den oben genannten Berechnungen wurden eine Sommertauglichkeitssimulation und eine Berechnung des Kühlbedarfs, der insbesondere beim Bürogebäude auftreten kann, mit Hilfe vorhandener Programme (WAEBED und BuildOpt_VIE) durchgeführt; siehe Kapitel 5.5 respektive Kapitel 6.1.4. Die Vergleichbarkeit der Sommertauglichkeitssimulation und des Kühlbedarfs mit den voran genannten Eigenschaften ist allerdings nur eingeschränkt möglich.

4.4. Primärenergiefaktoren und CO_2-Äquilvalent

Zur Bilanzierung und zum Vergleich unterschiedlicher Energieträger im Gebäude sind entsprechend den Ausführungen in Kapitel 4.2.3 zur Definition eines Plusenergiegebäudes Konversionsfaktoren für den Primärenergiebedarf und für die Bestimmung der relevanten Treibhausgasemissionen im Betrieb anhand des CO_2-Äquilvalents nötig. Die Primärenergiefaktoren werden in nachfolgender Tabelle für thermische Energiequellen im Import an der Bilanzgrenze und für Strom im Export, sprich der Lieferung ans öffentliche Stromnetz dargestellt. Die Angaben zum Export von Strom beruhen auf dem Konzept der Merit-Order, wonach durch die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen das aktuelle Grenzkraftwerk – in der Regel ein altes Kohlekraftwerk – substituiert wird. Daher sind der Primärenergiefaktor für Stromexport und der dazugehörige CO_2-Emissionsfaktor konstant und entsprechen beide den Konversionsfaktoren des Grenzkraftwerkes. Details zum Merit-Order-Effekt bietet unter anderem Obersteiner, 2010. Anders verhält es sich beim Import von Strom, dessen Konversionsfaktoren vom jeweiligen Strommix abhängig sind. Entsprechend der monatlichen Erzeugung elektrischer Energie in Österreich wurden die Primärenergiefaktoren und das CO_2-Äquivalent auf Monatsbasis berechnet. Generell ist dabei anzumerken, dass der österreichische Strommix trotz jahreszeitlicher Schwankungen aus ökologischer Sicht durch den hohen Anteil an Wasserkraft besser abschneidet als dies in Nachbarländern der Fall ist.

Tabelle 3: Primärenergiefaktoren und CO2-Emissionen verschiedener Energieträger; Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der E-Control

	Erdgas	Pellets	Fernwärme (ohne KWK-Strom)	Strom Export	Einheit
Primärenergiefaktor (Übergabe an der Grundstücksgrenze)	1,330	1,250	0,800	2,120	[kWh/kWh]
Nicht-erneuerbarer Primärenergiefaktor	1,330	0,150	0,270	2,120	[kWh/kWh]
CO_2-Emissionsfaktor	312	12	73	434	[g/kWh]

Bilanziert wird dabei über den Zeitraum eines Jahres, wobei für die Berechnungen auf Daten der E-Control zur jährlichen Elektrizitätsstatistik zurückgegriffen wird, die eine detaillierte Aufschlüsselung der monatlichen Stromversorgung in Österreich bietet (siehe E-Control, 2011). Berücksichtigt werden dabei die Stromerzeugung aus unterschiedlichen Energiequellen, Stromimporte nach Österreich und der Stromtransport durch Leitungs- und Netzverluste. Ohne Berücksichtigung bleibt die graue Energie des Stromnetzes und des Kraftwerkparks. Somit beinhalten die Angaben zur Primärenergie und zu den CO_2-

Emissionen den laufenden Betrieb vom Kraftwerk bis zum Verbraucher. Die Bilanzgrenze kann also direkt an der Schnittstelle zum Gebäude angesetzt werden.

In Tabelle 3 schneiden Pellets aus ökologischer Sicht am besten ab, aus primärenergetischer Sicht die Fernwärme. Dies beruht auf der Annahme, dass die Fernwärme in einer KWK-Anlage[3] ausgekoppelt wurde, wodurch der Stromanteil extra in die Konversionsfaktoren für Stromimport einfließt. Weiters wurde angenommen, dass die KWK-Anlage zu 75% aus Rest- und Abfallstoffen und zu 25% aus fossilen Energieträgern befeuert wird.

Tabelle 4: Primärenergiefaktoren und CO2-Emissionen des Strombezugs vom Netz nach Monaten; Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der E-Control

	Primärenergiefaktoren (Übergabe an der Grundstücksgrenze)	Primärenergiefaktoren Nicht Erneuerbar	CO_2-Emissionsfaktoren (äquivalent, LCA)
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]
Jänner	1,920	1,453	260
Februar	1,930	1,488	266
März	1,850	1,303	233
April	1,850	1,293	227
Mai	1,610	0,787	143
Juni	1,550	0,657	124
Juli	1,660	0,874	162
August	1,580	0,705	130
September	1,670	0,914	168
Oktober	1,820	1,246	227
November	1,830	1,284	233
Dezember	1,860	1,321	236

[3] Anm: Kraft-Wärme-Kopplung

4.5. Halbsynthetische Klimadaten

Zur Unterstützung der Planung von Gebäuden maximaler Energieeffizienz ist es zum einen erforderlich, die Auswirkung von planerischen Maßnahmen auf den Energiebedarf des Gebäudes mittels thermischer Gebäudesimulation so genau wie möglich zu erfassen. Zum anderen verlangt auch die Prognose der Effizienz aktiver Energieerzeugungssysteme nach einer möglichst genauen Simulation.

Die angenommenen außenklimatischen Bedingungen können die Ergebnisse von rechnerischen Simulationen erheblich beeinflussen. Daher ist es notwendig, der Aufbereitung geeigneter Klimadatensätze besonderes Augenmerk zukommen zu lassen. Natürlich ist es in diesem Zusammenhang in Hinblick auf die Erzielung realitätsnaher Ergebnisse wesentlich, dass die verschiedenen Simulationsläufe, die zur Optimierung des Gesamtsystems Gebäude – Energiebereitstellungssysteme durchgeführt werden, auf jeweils die gleichen oder auf zumindest zueinander kompatible Klimadatensätze zugreifen.

Da die zur Verwendung kommenden rechnerischen Verfahren zum Großteil das Vorliegen von Stundenwerten meteorologischer Größen voraussetzen, aber für Abschätzungen auch durchaus mit Monatsmittelwerten das Auslangen gefunden werden kann, ist es notwendig, Datensätze zu generieren, die für beide Berechnungsarten verwendbar sind. Diese Problematik wurde bereits im Jahr 1990 von W. Heindl et al. [1] aufgegriffen und führte zur Entwicklung eines Programmsystems zur Erzeugung sog. „Halbsynthetischer Klimadaten (HSKD)“, deren Besonderheit in der Einhaltung vorgegebener Monatsmittelwerte für alle erfassten meteorologischen Elemente liegt. Auf dieses Programmsystem wird auch im Rahmen des aktuellen Forschungsberichtes „Gebäudeintegration“ zurückgegriffen.

Die Ausarbeitung von Planungsgrundsätzen für Gebäude maximaler Energieeffizienz wird von den klimatischen Gegebenheiten am Gebäudestandort mitbestimmt. Um den Einfluss des Außenklimas auf die zu entwickelnden Planungsempfehlungen quantifizieren zu können, werden Klimadatensätze für verschiedene Gebäudestandorte in Österreich zusammen gestellt. Eine Gemeinsamkeit dieser Klimadatensätze stellt die Forderung dar, dass die zu generierenden Jahresverläufe meteorologischer Größen die im langjährigen Schnitt am Gebäudestandort zu erwartenden außenklimatischen Verhältnisse repräsentieren.

4.5.1. Auswahl der Standorte

Die Auswahl der Standorte, für die Klimadatensätze erzeugt werden sollen, wird von verschiedenen Gesichtspunkten beeinflusst. Zum einen wird die gesuchte Abhängigkeit der planerischen Ausgestaltung hoch energieeffizienter Gebäude von den außenklimatischen Bedingungen nur dann deutlich zu Tage treten, wenn sich die klimatischen Verhältnisse an den jeweilig ausgewählten Standorten deutlich unterscheiden.

Zum anderen ist es nahe liegend, sich auf Gebiete zu konzentrieren, an denen rege Bautätigkeit vorherrscht und für die somit die Entwicklung von Planungsempfehlungen

besonders bedeutsam ist. Zudem sollen Klimadatensätze generiert werden, die in vernünftiger Weise in Österreich verteilt und nicht auf eine Region alleine konzentriert sind.

Schließlich ist die Bereitstellung von Klimadatensätzen, die langjährige außenklimatische Verhältnisse repräsentieren sollen, dort und nur dort mit ausreichender Genauigkeit möglich, wo meteorologische Stationen existieren, die für alle interessierenden Größen langjährige Messreihen liefern können. Nach diesen Auswahlkriterien werden halbsynthetische Klimadatensätze für folgende Standorte erzeugt:

Standort	Geografische Lage	Anmerkungen
Wien	Breite: 48° 15‘ 00“ Länge: 16° 21‘ 28“ Seehöhe: 198 m	Der Datensatz ist repräsentativ für die östlichen Bereiche Österreichs. Grundlage des Datensatzes sind die langjährigen Messreihen an der Station Wien, Hohe Warte.
Innsbruck	Breite: 47° 15‘ 38“ Länge: 11° 23‘ 06“ Seehöhe: 577 m	Der Datensatz ist repräsentativ für Tallagen in Hochgebirgsbereichen Westösterreichs. Grundlage des Datensatzes sind die langjährigen Messreihen an der Station Innsbruck, Universität.
Klagenfurt	Breite: 46° 39‘ 00“ Länge: 14° 20‘ 00“ Seehöhe: 447 m	Klagenfurt repräsentiert Lagen mit extremen winterlichen außenklimatischen Verhältnissen. Grundlage des Datensatzes sind die langjährigen Messreihen an der Station Klagenfurt, Flughafen.
Mallnitz	Breite: 46° 58‘ 55“ Länge: 13° 10‘ 38“ Seehöhe: 1185 m	Mallnitz ist ein Beispiel für Hochgebirgslagen. Es liegt im Bereich winterlicher Inversionswetterlagen, die an der Alpensüdseite besonders ausgeprägt sind. Grund für die Wahl von Mallnitz ist u. a. das Vorliegen langjähriger Messreihen für alle benötigten Datenarten.
Radstadt	Breite: 47° 23' 07" Länge: 13° 27' 22" Seehöhe: 858 m	Radstadt liefert übers gesamte Jahr besonders hohe Strahlungseinträge und ist daher für die Betrachtung aktiver und passiver solarer Gewinne von hoher Bedeutung.

Für weitere Standorte sei an dieser Stelle auf eine vereinfachte Berechnung im Rahmen der Klimadatenbank des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend hingewiesen; siehe www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank.

4.5.2. Vergleich der langjährigen Klimadaten

Als grundlegende Daten für die Erzeugung der halbsynthetischen Klimadatensätze (HSKD) dienen langjährige Monatsmittelwerte oder –summen für alle interessierenden meteorologischen Elemente. Um die langjährigen Klimadaten an den vier ausgewählten Standorten vergleichen zu können, sind im Folgenden die langjährigen Monatswerte für alle im Weiteren verwerteten Datenarten einander gegenüber gestellt. Die gezeigten Werte wurden – einer Empfehlung der World Meteorological Organisation (WMO) entsprechend – durch Mittelung

über jeweils 30 Jahre gewonnen. Der Mittelungszeitraum wurde einheitlich mit dem Zeitintervall beginnend mit Jahresanfang 1978 und endend mit Jahresende 2007 festgesetzt.

4.5.2.1. Außenlufttemperatur

In folgender Abbildung sind die der Erzeugung der HSKD zugrunde liegenden langjährigen Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur für vier der fünf ausgewählten Standorte einander gegenüber gestellt.

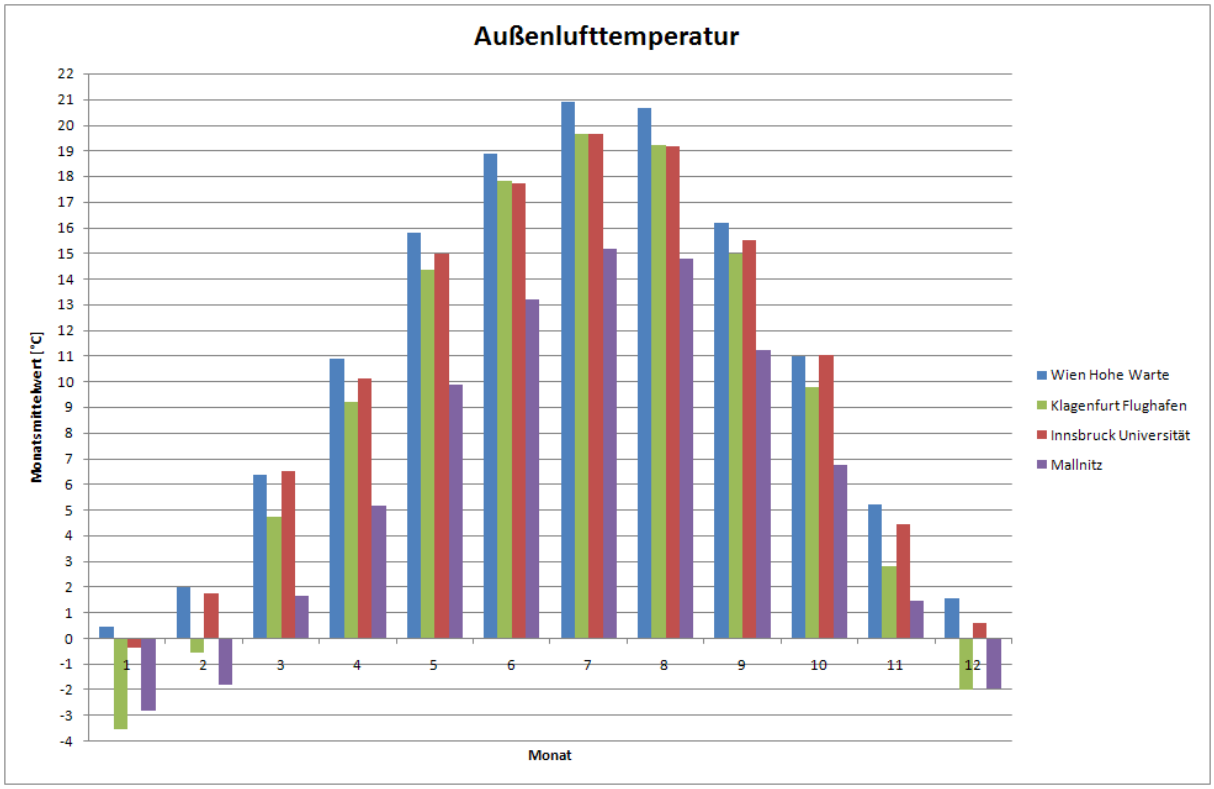


Abbildung 7: Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur an verschiedenen Standorten in Österreich

Die höchsten langjährigen Monatsmittelwerte ergeben sich für Wien, Hohe Warte. Es fällt auf, dass die Monatsmittel in Wien ganzjährig über dem Gefrierpunkt liegen und im Juli ihr Maximum von knapp 21 °C erreichen.

Der tiefste Monatsmittelwert stellt sich in Klagenfurt im Januar ein. Mit unter -3 °C ist es somit im Januar in Klagenfurt kälter als im knapp 750 m höher liegenden Mallnitz.

Im Sommer liegen die Temperaturen in Klagenfurt und Innsbruck nahezu gleich auf. Mallnitz verzeichnet im Hochsommer aufgrund seiner Höhenlage um über 4 K niedrigere Monatsmittelwerte.

4.5.2.2. Relative Luftfeuchtigkeit

In folgender Abbildung sind die der Erzeugung der HSKD zugrunde liegenden langjährigen Monatsmittelwerte der Luftfeuchtigkeit für vier der fünf ausgewählten Standorte einander gegenüber gestellt.

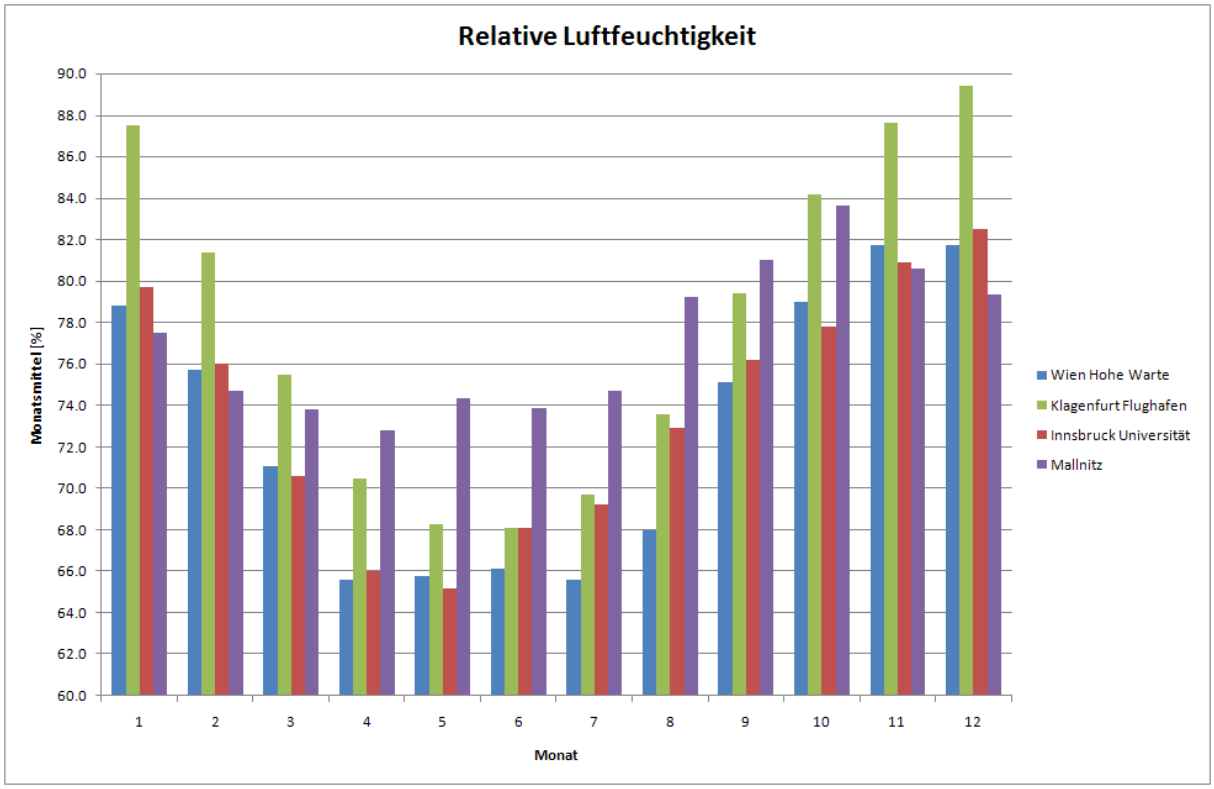


Abbildung 8: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit an verschiedenen Standorten in Österreich

Auffallend sind die sehr hohen Werte der relativen Luftfeuchtigkeit, die sich im Winter für Klagenfurt ergeben. Für die drei anderen Standorte liegen die winterlichen Luftfeuchtigkeitswerte nahe beieinander.

Im Sommer treten in Mallnitz die mit Abstand höchsten Werte relativer Luftfeuchtigkeit auf, während in Wien die niedrigste sommerliche Luftfeuchtigkeit gemessen wurde.

4.5.2.3. Niederschlag

In folgender Abbildung sind die der Erzeugung der HSKD zugrunde liegenden langjährigen Monatssummen der Niederschlagshöhe für vier der fünf ausgewählten Standorte einander gegenüber gestellt.

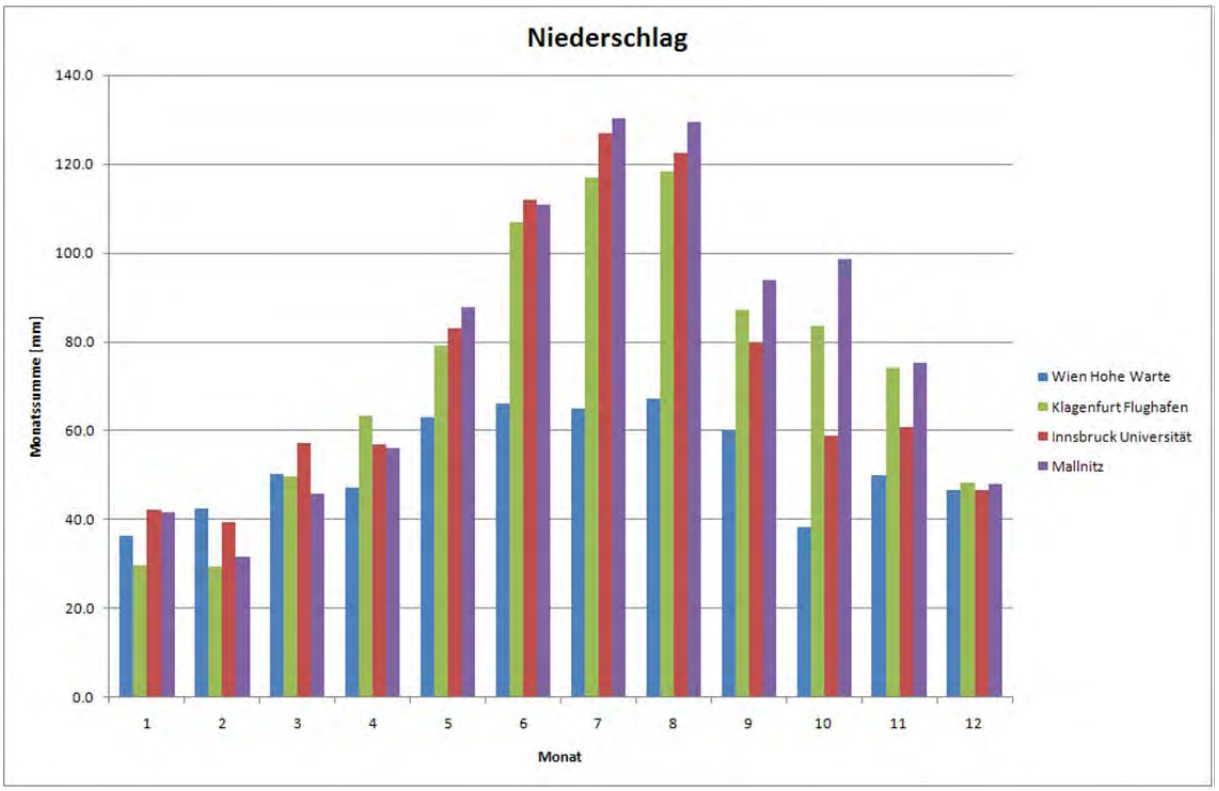


Abbildung 9: Monatssumme des Niederschlags an verschiedenen Standorten in Österreich

Die sommerlichen Niederschlagsmengen sind am Standort Wien, Hohe Warte, deutlich geringer als an den drei anderen Standorten. Im Juli und August sind die Niederschlagsmengen am Gebirgsstandort Mallnitz am größten.

Im Winter unterscheiden sich die Niederschlagsmengen an den vier Stationen nur unwesentlich. Im Januar sind in Klagenfurt die Niederschlagsmengen am geringsten. Im Februar zeigen die südlich der Alpen gelegenen Standorte Klagenfurt und Mallnitz die niedrigsten Niederschlagssummen.

4.5.2.4. Globalstrahlung

In folgender Abbildung sind die der Erzeugung der HSKD zugrunde liegenden langjährigen Monatssummen der Globalstrahlung auf die horizontale Empfangsfläche für vier der fünf ausgewählten Standorte einander gegenüber gestellt.

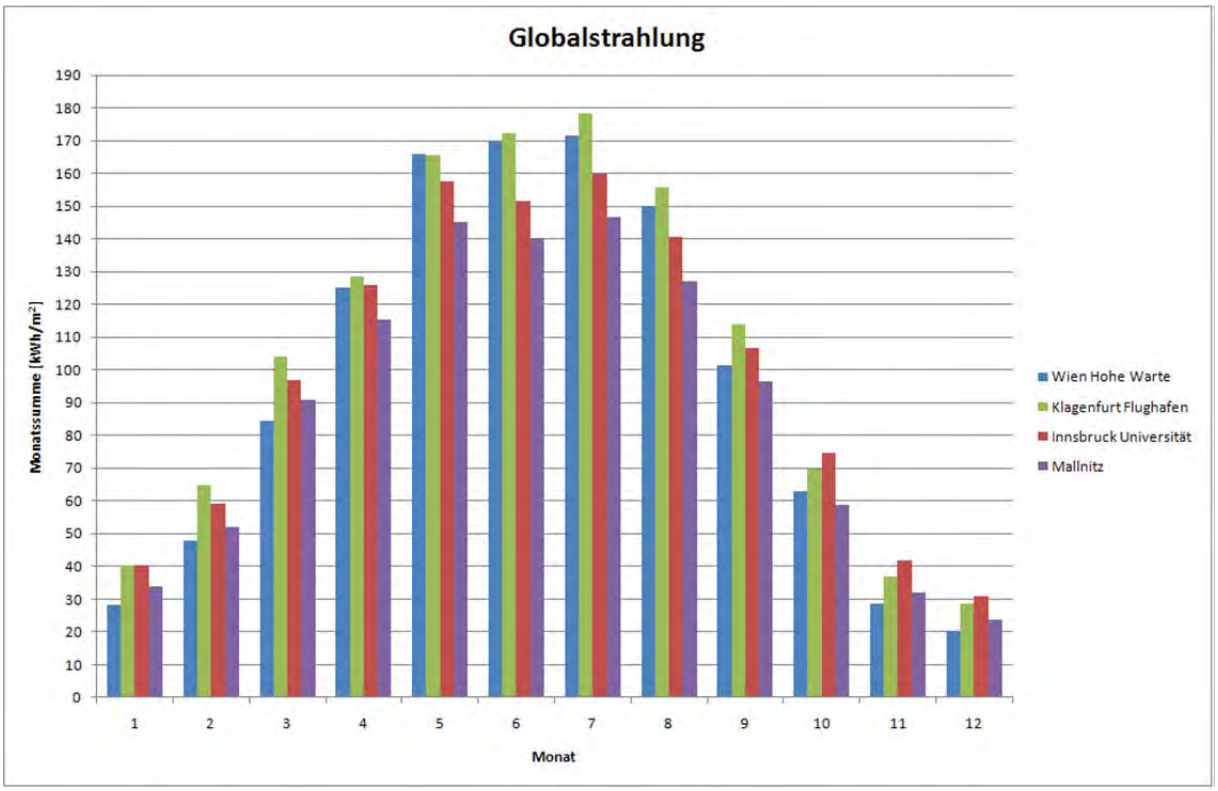


Abbildung 10: Monatssumme der Globalstrahlung an verschiedenen Standorten in Österreich

Auffallend ist, dass für den Standort Mallnitz trotz dessen Höhenlage im Sommer die mit deutlichem Abstand geringste Sonneneinstrahlung registriert wurde. Dieser Effekt ist offenbar mit häufigem Schlechtwetter zu begründen; die hohen sommerlichen Werte der Luftfeuchtigkeit und die sehr hohen Niederschlagsmengen sind ein Indiz dafür. Die höchsten sommerlichen Einstrahlungswerte sind in Klagenfurt zu verzeichnen.

Im Winterhalbjahr und in den Übergangszeiten ist in Innsbruck und Klagenfurt die solare Einstrahlung am Größten. Wien verzeichnet im Winter die geringste solare Einstrahlung.

4.5.2.5. Himmelsstrahlung

In folgender Abbildung sind die der Erzeugung der HSKD zugrunde liegenden langjährigen Monatssummen der Himmelsstrahlung, d. h. die vom Himmel kommende diffuse Strahlung, auf die horizontale Empfangsfläche für vier der fünf ausgewählten Standorte einander gegenüber gestellt.

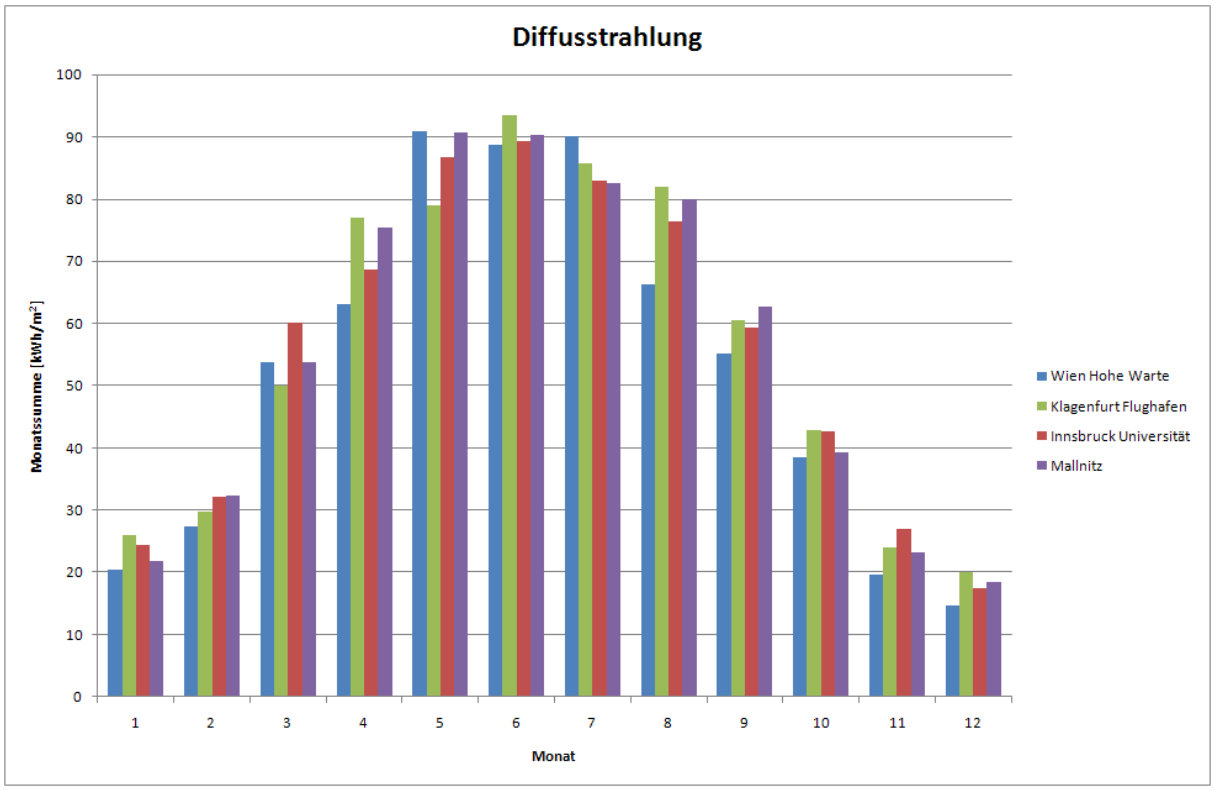


Abbildung 11: Monatssumme der Himmelsstrahlung an verschiedenen Standorten in Österreich

Bei der Interpretation der gezeigten Monatssummen ist anzumerken, dass die Himmelsstrahlungswerte nur in Wien gemessen, ansonsten aber unter Berücksichtigung des Bewölkungsgrades aus den Globalstrahlungswerten rückgerechnet wurden [6].

Mit Ausnahme der Sommermonate liegen die Himmelsstrahlungswerte für Wien am niedrigsten, für Klagenfurt und Innsbruck am höchsten.

4.5.2.6. Luftdruck

In folgender Abbildung sind die der Erzeugung der HSKD zugrunde liegenden langjährigen Monatsmittelwerte des Luftdrucks für vier der fünf ausgewählten Standorte einander gegenüber gestellt.

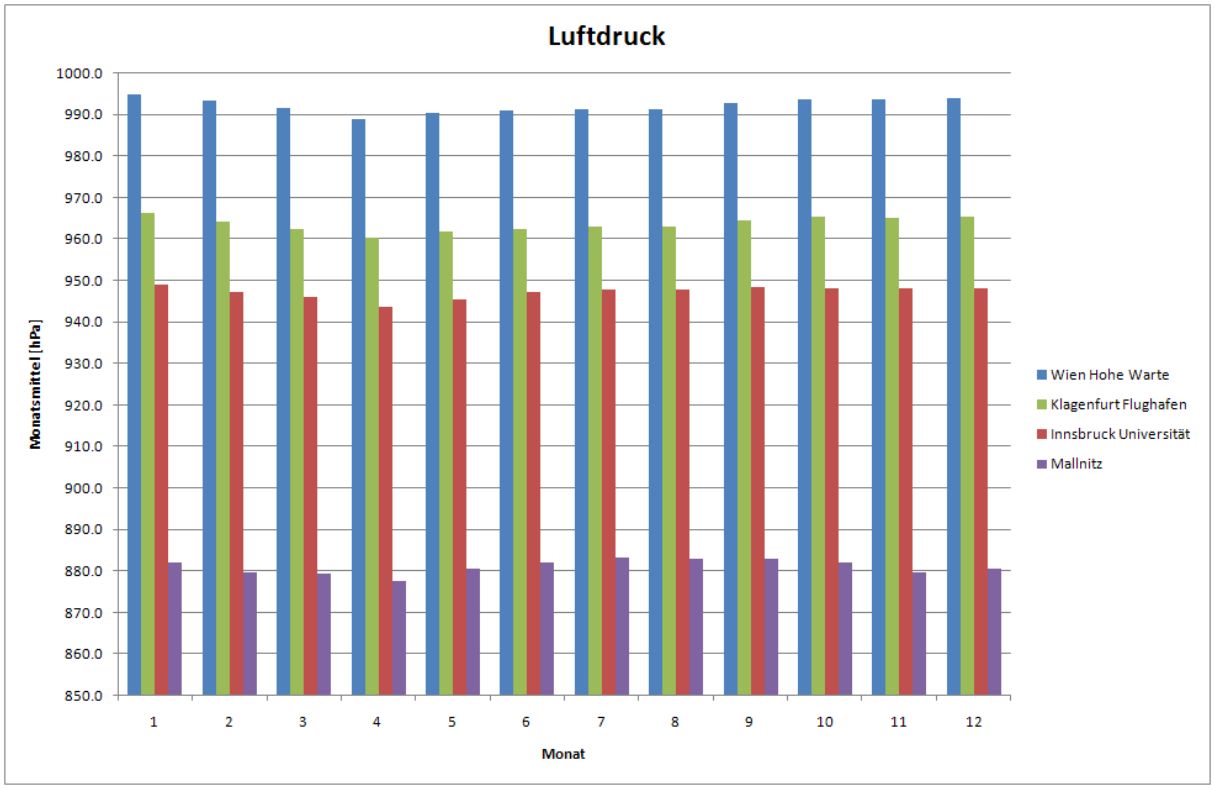


Abbildung 12: Monatsmittelwerte des Luftdrucks an verschiedenen Standorten in Österreich

Für alle vier Standorte zeigen die Monatsmittelwerte des Luftdrucks einen nur wenig ausgeprägten Jahresgang.

Die großen Unterschiede in den Luftdruckwerten der vier Standorte sind in der unterschiedlichen Höhenlage begründet. Während der Luftdruck in Mallnitz (auf 1185 m Seehöhe) im Jahresverlauf um ca. 880 hPa schwankt, liegt der Luftdruck in Wien (auf 198 m Seehöhe) mit ca. 990 hPa wesentlich höher.

4.5.2.7. Windgeschwindigkeit

In folgender Abbildung sind die der Erzeugung der HSKD zugrunde liegenden langjährigen Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit für vier der fünf ausgewählten Standorte einander gegenüber gestellt.

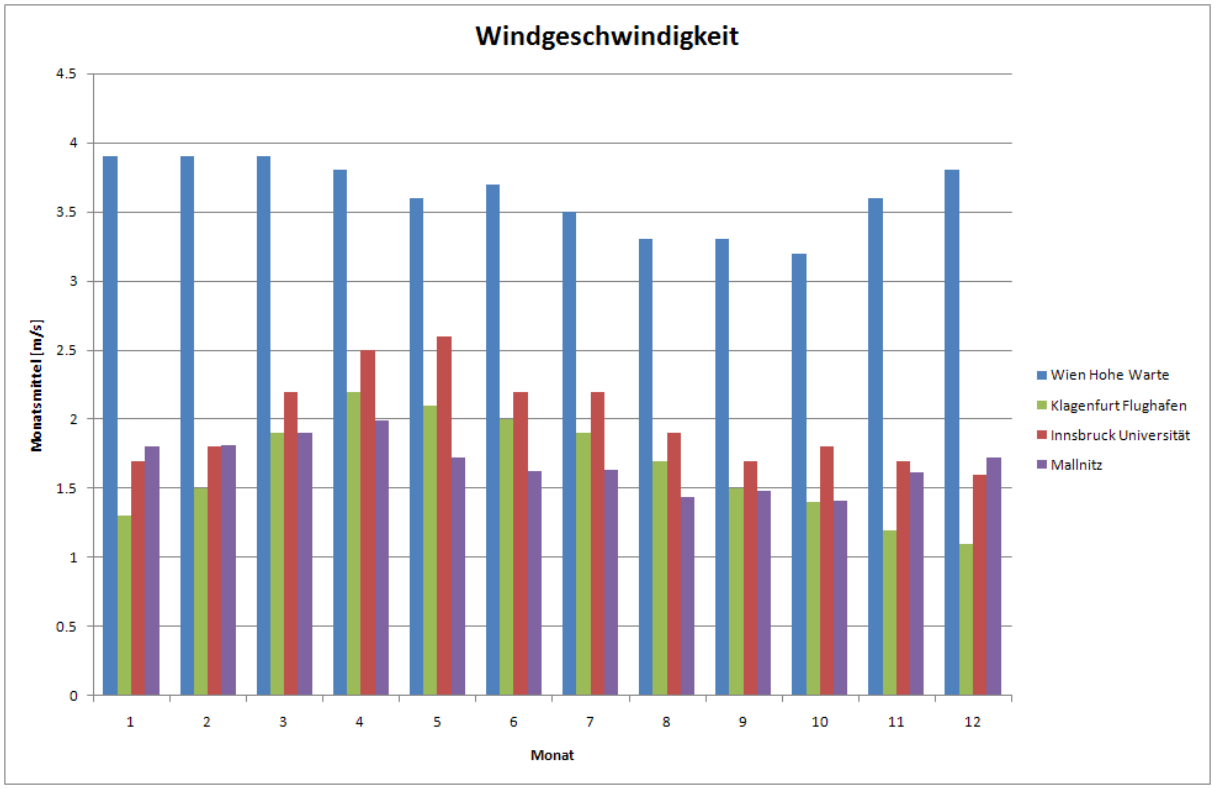


Abbildung 13: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit an verschiedenen Standorten in Österreich

Es zeigt sich, dass in Wien während des ganzen Jahres wesentlich höhere Windgeschwindigkeiten vorherrschen als an den anderen drei Stationen. Die im Gebirgsstandort Mallnitz im langjährigen Schnitt registrierten Windgeschwindigkeiten sind nur ca. halb so groß wie jene in Wien.

4.5.3. Erzeugung der HSKD

In folgendem Abschnitt werden kurz allgemein die Prinzipien, auf denen die Erzeugung halbsynthetischer Klimadatenbasen beruht, rekapituliert. Eine detaillierte Beschreibung der Auswahlkriterien für die Zusammenstellung von Testreferenzjahren und der mathematischen Algorithmen zur Erzeugung von halbsynthetischen Klimadaten aus den Testreferenzjahren kann in [1] nachgelesen werden. Die Dokumentationen über die Datengrundlagen und die erzeugten HSKD runden das Kapitel ab.

Vorgangsweise

Die hier beschriebenen Datensätze bestehen aus Stundenwerten meteorologischer Daten. Diese meteorologischen Daten gehen als Randbedingungen sowohl in thermische Gebäude-

simulationen als auch in die Simulation des Ertrags aktiver Energieerzeuger ein und beeinflussen die Berechnungsergebnisse wesentlich. Aus diesem Grund muss an die Zusammenstellung solcher Daten mit besonderer Sorgfalt heran gegangen werden.

Bevor über die Verfügbarkeit von Daten und über Methoden der Datenzusammenstellung nachgedacht wird, muss klar sein, welchen Anforderungen die Klimadatensätze genügen sollen.

Zumeist wird gefordert, dass die Klimadatensätze die im langjährigen Schnitt am Gebäudestandort zu erwartenden außenklimatischen Bedingungen beschreiben. Das Berechnungsergebnis spiegelt in diesem Fall auch das im Mittel zu erwartende wärmetechnische Verhalten des untersuchten Gebäudes wieder.

Ebenso berechtigt und sinnvoll ist die Frage nach dem thermischen Verhalten des Gebäudes unter außenklimatischen Extremsituationen. Das Berechnungsergebnis dient in diesen Fällen dem Beleg, dass im Gebäude auch während klimatischer Extremsituationen der Komfort bewahrt bleibt.

Die beiden genannten Forderungen sind insofern nicht verträglich, als sich die Darstellung extremer Klimasituationen mit der gleichzeitig erwünschten Wiedergabe der im langjährigen Schnitt zu erwartenden außenklimatischen Verhältnisse innerhalb nur eines Jahres nicht oder nur schwer abbilden lässt.

In den hier vorliegenden Klimadatensätzen wird der möglichst genauen Beschreibung der am Standort im langjährigen Schnitt zu erwartenden außenklimatischen Verhältnisse Priorität eingeräumt.

In diesem Zusammenhang anzumerken ist, dass bei Bedarf immer die Möglichkeit besteht, verschiedenste Klimadatensätze für ein und denselben Standort zu generieren. Neben dem hier vorliegenden Datensatz, der die langjährigen Verhältnisse beschreibt, können auch Datensätze mit extremen winterlichen und/oder auch extremen sommerlichen Klimasituationen erstellt werden.

Für die Erzeugung halbsynthetischer Klimadatensätze sind vorerst alle Monatsmittelwerte für jede in den Datensatz aufzunehmende meteorologische Größe vorzuschreiben. Im Fall der hier generierten Datensätze sind dies jeweils die an der Messstation aus Langzeitmessungen durch Mittelung errechneten Werte, die somit für die langjährigen Verhältnisse charakteristisch sind. Gemäß WMO sind langjährigen Werten Messreihen über 30 Jahre zugrunde zu legen. Diese Vorgabe wird hier nach Maßgabe der Verfügbarkeit der jeweiligen Datenart eingehalten. Um auch die Einflüsse des derzeit ablaufenden Klimawandels zu erfassen, wurden Messungen aus dem Zeitintervall zwischen 1. Januar 1978 und 31. Dezember 2007 der Mittelwertbildung zugrunde gelegt. Die bei der Erzeugung halbsynthetischer Klimadatensätze als Eingabedaten eingehenden Mittelwerte bilden somit eine zum derzeitigen Zeitpunkt aktuelle Datenbasis.

Neben den einzuhaltenden Monatsmittelwerten muss zudem auch ein möglichst großer Fundus an gemessenen Stundenwerten, aus denen in der Folge Testreferenzjahre zusammengesetzt werden, bereitgestellt werden. Im vorliegenden Fall steht als

Basisdatensatz ein Paket von an der Station Wien, Hohe Warte, gemessenen Stundenwerten aus dem Zeitintervall zwischen 1. Januar 1951 und 31. Dezember 2009 zur Verfügung. Nachfolgend erfolgt eine genaue Erklärung zur Generierung von halbsynthetischen Klimadatensätzen:

1. Zur Erzeugung der halbsynthetischen Klimadatensätze wird in einem ersten Schritt durch Aneinanderstückeln von aus dem Basisdatensatz ausgesuchten Monaten spezieller Jahre, die Monatsmittelwerte bzw. Monatssummen liefern, die den vorgegebenen Werten möglichst nahe kommen, ein Testreferenzjahr erzeugt. Natürlich wird bei jedem Monat für alle Datenarten das gleiche Jahr ausgewählt, sodass die Korrelation zwischen den Messwerten streng erhalten bleibt.
2. Neben den Monatsmittelwerten können zur Auswahl der Monate für den Zusammenbau zum Testreferenzjahr auch Vorgaben in Hinblick auf die statistischen Verteilungen berücksichtigt werden. Vorgegeben werden hierbei monatlich die Summenhäufigkeitskurven, die vom betrachteten meteorologischen Element für den langjährigen Schnitt vorliegen. Natürlich kann nicht erwartet werden, dass ein für das Testreferenzjahr ausgewählter Monat genau die vorgegebene Summenhäufigkeitsverteilung aufweist. Daher wird aus den in Frage kommenden Monaten gemäß EN ISO 15927-4 [2] jener Monat ausgewählt, der der vorgegebenen Verteilung am ehesten entspricht.
3. Im vorliegenden Datensatz wurde eine Summenhäufigkeitsverteilung nur für die Tagesmittelwerte der Außenlufttemperatur vorgegeben. Diese monatlichen Verteilungen und die langjährigen Monatsmittelwerte wurden unter Zugriff auf das Programmpaket OEKLIM [3] ermittelt.
4. Die Wahrscheinlichkeit, Monate zu finden, die zum einen die vorgegebenen Mittelwerte für alle in Betracht zu ziehenden meteorologischen Größen gleich gut erfüllen und zum anderen auch den vorgegebenen statistischen Verteilungen sehr nahe kommen, liegt nahe bei null – eine für Testreferenzjahre gut bekannte Problematik.
5. Daher wird in einem zweiten Schritt dieses Testreferenzjahr durch kleine Änderungen an den Stundenwerten aller in Betracht gezogenen meteorologischen Größen derart verändert, dass die vorgegebenen Monatsmittelwerte von jeder Datenart möglichst genau eingehalten werden und gleichzeitig die Korrelation zwischen den Werten verschiedener Datenarten erhalten bleibt. Die als Ergebnis dieser Modifikation erhaltenen Datensätze werden „halbsynthetische Klimadatensätze“ (HSKD) [1] genannt.

Datenumfang

Die Datensätze enthalten Stundenwerte folgender meteorologischer Größen:

Tabelle 5: Meteorologische Größen der halbsynthetischen Klimadatensätze

Meteorologische Größe	Datenart	Einheit
Außenlufttemperatur	Momentanwert	°C
Relative Feuchtigkeit	Momentanwert	%
Niederschlag	Stundensumme	mm
Globalstrahlung	Stundenmittelwert	Wm^{-2}
Himmelsstrahlung	Stundenmittelwert	Wm^{-2}
Luftdruck	Momentanwert	hPa
Windgeschwindigkeit	Stundenmittelwert	ms^{-1}

Als Momentanwert wird der zur jeweiligen vollen Stunde vorliegende bzw. gemessene Wert verstanden. Als Stundenmittelwert wird hingegen der Mittelwert über das Zeitintervall beginnend mit ½ Stunde vor und endend mit ½ Stunde nach jener vollen Stunde, dem der entsprechende Wert zugeordnet ist, verstanden.

5. Architektur eines Plusenergie-Hauses

5.1. Optimierung in Städtebau und Raumplanung

5.1.1. Die energieeffiziente Stadt als unerlässliches Zukunftsmodell

Betrachtungen zum Thema Energieeffizienz sollten in der Raum- und Stadtplanung mittlerweile als Normal- und nicht als Sonderfall erfolgen. Energiegerechte Raum- und Stadtplanung bildet die Basis für eine effektive energieoptimierte Gebäudeplanung, welche sich durch verstärkte Dämmmaßnahmen, regenerative Energieerzeugung und eine rationelle Energieversorgung auszeichnet. Wesentliche Planungsziele des effizienten Städtebaus liegen in der Senkung des Gebäude-Wärmeverlustes durch ein geeignetes Oberflächen-Volumen-Verhältnis, der Schaffung optimaler Voraussetzungen für eine aktive und passive Solarenergienutzung, sowie einer effizienten Wärmeversorgung.

5.1.2. Potentiale

Durch energieeffiziente Stadtplanung von Neubaugebieten können nicht nur bereits im Vorfeld überflüssige bauliche Maßnahmen an Gebäuden vermieden werden. In der Regel lässt sich auch der Heizenergiebedarf um 5 bis 10%, in Ausnahmefällen sogar um bis zu 40% senken (siehe Goretzki 2007, S. 66). Das größte Potential energieeffizienter Planung liegt jedoch eher in der Bestandssanierung als im Neubaubereich. Städtische Sanierungskonzepte können nur auf Basis einer präzisen Analyse der Stadtcharakteristik erfolgreich umgesetzt werden. Dazu muss die sogenannte „Eingriffsempfindlichkeit“ des jeweiligen Stadtbausteins im Sanierungskonzept definiert werden.

Städtebauliche Optimierung schafft vielfach die Voraussetzungen für energieeffiziente Bauweisen und für eine wirtschaftlich sinnvolle aktive Sonnenenergienutzung. Das gesamte technische solare Flächenpotential wird für Österreich auf etwa 114 km² Dach- und rund 52 km² Fassadenfläche geschätzt (Kaltschmitt 2009, S. 189). Die Integration solartechnischer Komponenten in die bestehende Stadtarchitektur birgt einerseits ein großes Potential und muss andererseits äußerst sensibel verfolgt werden. Bei der Entwicklung solarenergetischer Sanierungskonzepte müssen die gestalterischen Ausgangspunkte sowie die Erscheinung der Solarkomponenten im gesamten Stadtkontext betrachtet werden.

5.1.3. Ziele und Schwerpunkte

Die Ziele einer energieeffizienten Planung auf Siedlungsebene liegen in der Schmälerung des Energieeinsatzes und Ressourcenverbrauchs durch Reproduktion, Substitution und Regeneration bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Nutzeransprüchen, stadtökologischen Aspekten, sowie Anforderungen der Stadtgestalt und des öffentlichen Raums.

Eine Optimierung der Ressourceneffizienz wird unter anderem durch die Implementierung zukunftsweisender Gebäudekonzepte wie etwa dem Plus-Energie-Standard erzielt. Auch die Substitution des Individualverkehrs durch hochrangigen öffentlichen Verkehr spielt eine

wesentliche Rolle. Anstatt eines ringförmigen werden ein polyzentrales Siedlungswachstum, sowie ein ausgewogenes Maß an Nachverdichtung und infrastruktureller Ergänzung in zersiedelten Bereichen angestrebt.

Kommunale Widmungspolitik, Raumordnungsgesetze, bewusstseinsbildende Maßnahmen (z.B. Bürgermeisterschulungen) und „Best-Practice"-Gemeinden sorgen für Fortschritt in der energieeffizienten Stadtplanung. Mit Hilfe der Gesetzgebung kann die Nutzung erneuerbarer Energien als Wirtschaftsgut für Bauherren interessant werden.

5.1.4. Entwurfsoptimierung und Planungsmaßnahmen

Energieeffizienter Städtebau umfasst eine Vielzahl an Parametern, die in einem komplexen Wirkungszusammenhang zu einander stehen. Für die Bewertung bzw. Optimierung städtebaulicher Entwürfe in Bezug auf Energieeffizienz ist daher unter anderem eine computergestützte Simulation erforderlich. Simulationsprogramme werden auch für die solar-energetische Optimierung bzw. Prüfung von Bebauungsplänen eingesetzt. In der folgenden Tabelle sind wichtige Planungsmaßnahmen und -strategien für eine ganzheitliche städtebauliche Planung zusammengestellt.

Planungsempfehlungen für die Stadtplanung / für den Stadtumbau

Analysen / Studien	Konzepte / Festlegungen	Vorgehensweise
Umweltstudien	Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung	Einbindung klimatischer Gegebenheiten im Masterplan
Bedürfnisanforderungen Funktionsprogramme	Neues Funktionsprogramm Nutzungskonzepte aufgrund unterschiedlicher wirtschaftlicher und demographischer Prognosen Nutzungsdurchmischung (Gebäude-, Block- und Gebietsdurchmischung)	Integration von Nutzung, Stadtstruktur, Verkehr und Energie Schaffung von Identifikation mit dem Stadtteil (Charakteristik) Breitgefächertes Angebot von verschiedenen Parzellengrößen
Ökologische (Nach-) Verdichtung	Bebauungsdichtenkonzept	Abgestufte bauliche Dichten Umnutzung von innerstädtischen Brachen (Innen vor Außen) Objektkonfiguration durch dichte, kleinteilig parzellierte Bebauung
Variantenstudien	Ideen, Skizzen, Visionen	Erstellung unterschiedlicher Szenarien
alte/neue Infrastruktur Versorgungseinrichtungen integrierter städtischer Organismus	Lagebestimmung, identitätsstiftende Sichtbeziehungen multifunktionales Stadtzentrum nutzungsdurchmischte Nachbarschaftseinheit	Nähe zum Stadtzentrum (kurze Wegstrecken) Gewerblich genutzte Erdgeschoßzonen sorgen für Belebtheit des öffentlichen Raumes
Verkehr Anbindung Wegführung Erhebung der täglichen Wege	Verkehrskonzept, Verkehrsberuhigung Anbindungskonzept Ausgeklügeltes Wegenetz Erschließungskonzept (autofrei,	Tempolimits Haltestellen als wichtige Konzentrationspunkte, fußläufige Erschließung, Erreichbarkeit öffentlicher Verkehrsmittel Ausbau der Schiene als

	autoreduziert oder verkehrsberuhigt) Bevorzugung der Fußgänger und Radfahrer innerhalb der Baublöcke	leistungsfähiges Nahverkehrsmittel, kurze Intervalle öffentlicher Verkehrsmittel
Energiebedarf, -verbrauch CO_2-Vermeidung	Energieversorgungskonzept: Heizung, Warmwasseraufbereitung, elektrische Energiegewinnung, umweltfreundliche Energieträger	Dezentrale vs. zentrale Energieversorgung Dach- bzw. Sonnenkollektoren Windkraft Integrierte Photovoltaik
Entsorgung	Entsorgungs- und Recyclingkonzepte	Abwasserfreie Siedlungen durch Reinigung des Grauwassers Müllseparations- und Verwertungsanlagen
Freiflächenbedarf Außenraumgestaltung Öffentlicher Raum	Grünraumkonzept Straßenraumgestaltungskonzept Gestaltungskonzept Baukörperanordnungskonzept Vegetationskonzept	Schaffung von Kontinuität im Raum durch Feinstruktur gleichartiger Gliederungselemente, proportionale Platzgestaltung Hierarchisch gestufte öffentliche Räume, Plätze mit hoher Aufenthaltsqualität durch belebte Begrenzungen, Nutzungsvielfalt, Zugänglichkeit, Ablesbarkeit, Sicherheit urbaner Komfort, urbanes Raumerlebnis durch straßenraumbegleitende Bebauung und Setzung von Vegetationselementen, abwechslungsreiche Bebauungsstrukturen Berücksichtigung der Charakteristika der Stadtbausteine
Stadtklimatische Aspekte	Stadtklimakonzept	Windkorridore zur Durchlüftung der Stadt im Sommer Hierarchisches Grünflächenkonzept in Abstimmung zur Hauptwindrichtung
Bauweise Eingriffsempfindlichkeit Bilanz	Passiv-, Solar- oder Plusenergiekonzept Neubau, Bestandssanierung	Ableitung der Vorgehensweise laut Projektanforderungen und Möglichkeiten in Bezug auf baurechtliche Bestimmungen, Erhaltung der Stadtcharakteristik, sozi-ökologischen Auswirkungen und Energieziele Flexibilität und Variabilität bei Ausgestaltung von Gebäuden standardisierte Lösungsmodelle für Stadtraumtypen Erfüllung energetischer Anforderungsprofile
Soziale Aspekte	Nutzungskonzept	Vielfalt an Wohnformen, Gebäudetypen und Nutzung durch viele soziale Gruppen Soziale Einrichtungen und Angebote

	Partizipative Organisationsformen, Gemeinschaftsflächen und –räume, Betreuung/Beratung in der Stadt, Selbstverwaltung, Verantwortung als Grundprinzip

Tabelle 6: Planungsmaßnahmen für den ganzheitlichen städtebaulichen Entwurf (nach Everding (Hrsg.) 2007)

5.1.5. Urbane Dichte - humanökologische Betrachtung

Das Einfamilienhaus ist in Österreich eindeutig die beliebteste Wohnform, obwohl sie zugleich auch aus energetischer Sicht als die problematischste eingestuft werden kann. Die energetisch ungünstigen gestreuten Siedlungsstrukturen bringen wesentlich höhere Erschließungskosten mit sich als kompakte Siedlungsformen, und der enorme Flächenverbrauch dieser Bauweise stellt in Regionen mit knappen Flächenressourcen ein Problem dar. Wohnbauförderungspolitik im großstädtischen Umfeld bietet die Chance flächensparende Bauweisen attraktiver zu gestalten und so eine akzeptierte Alternative zum Einfamilienhaus zu schaffen.

Als Voraussetzung für zukunftsweisenden Städtebau gilt die Planung integrierter Standorte und flächensparender Siedlungsstrukturen. Dabei müssen siedlungspolitische Strategien eingesetzt werden um der Zersiedelung und Suburbanisierung entgegen zu wirken. Sinnvolle Siedlungspolitik betreibt ein sanftes Baugebot in erschlossenen Ortsteilen und sorgt für eine wohldurchdachte Nachverdichtung in bestehenden Siedlungsgebieten. Dabei sollte vor allem die Nachverdichtung in guten Lagen mit hoher Standortqualität forciert werden. Durch Brachenreaktivierung kann der Flächenbedarf ebenfalls erheblich gesenkt werden (Everding, 2007). Energieeffizienz in Städtebau und Raumplanung ist ein komplexes Themengebiet, zu dessen Erforschung noch zahlreiche Pilotprojekte und Langzeitstudien anhand energieeffizienter Stadt- und Raummodelle erforderlich sein werden. In Österreich und Deutschland wurden jedoch bereits erfolgreich einige Musterstädte (Güssing, SolarCity Linz, Hannover-Kronsberg, Köln-Böcklemünd, etc.) mit sehr ambitionierten Energiekonzepten umgesetzt. Erfolgreiche Beispiele von realisierten Gebäuden folgen im nächsten Kapitel.

5.2. Modellgebäude

Zur Ermittlung der Optimierungspotentiale im Neubau wurde eine Analyse der architektonischen Rahmenbedingungen für die Konzeption hocheffizienter Gebäude-Energiesysteme mittels Simulation an vier Typen von Modellgebäuden durchgeführt. Die Ausarbeitung der Prototypen spielte dabei zusammen mit der Auswahl der zu untersuchenden Parameter und der Entwicklung einer Struktur für die vorgesehenen Simulationsreihen eine entscheidende Rolle.

Da für die Formulierung allgemeingültiger Planungsempfehlungen möglichst repräsentative Modellgebäude erforderlich sind, wurden für die Prototypenentwicklung Bebauungsbestimmungen, Förderrichtlinien, Benchmarks und statistische Daten herangezogen. Zur Weiterbearbeitung wurden die Modellgebäude jeweils grafisch aufbereitet und die Gebäudehülle flächenanteilig nach Eigenschaften wie Transparenz, Wärmedurchgangskoeffizient, Orientierung, usw. in Tabellen erfasst. Diese Tabellen enthalten außerdem jeweils eine kurze Gebäudebeschreibung sowie Informationen zum Baukörper (Kompaktheit, Nutzfläche, Bruttogrundfläche), zur Nutzung, zur Personenbelegung und zu den vorgesehenen Simulationsvarianten.

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick zu den entwickelten Modellgebäuden gegeben, detaillierte Informationen zu den Prototypen und Simulationsreihen finden sich in den Planungsleitfäden. Nord-Süd- respektive Ost-West-Orientierung bezieht sich in der weiteren Folge bei Reihenhäusern und Mehrfamilienwohngebäuden auf die Orientierung der Hauptfassaden.

5.2.1. Wohngebäude

Wohngebäude machen mehr als 85% des österreichischen Gebäudebestandes aus (Statistik Austria 2007). Der Gebäudetyp Wohngebäude wurde in den Simulationsstudien daher eingehender betrachtet. Den unterschiedlichen Wohnformen entsprechend wurde zwischen Gebäuden mit 1 oder 2 Wohneinheiten und Gebäuden mit mehreren Wohneinheiten unterschieden. Beim Gebäudetyp Einfamilienhaus wurden außerdem die Sonderformen Reihenhaus und Kleingartenwohnhaus untersucht.

Bei der Entwicklung der Wohngebäude-Prototypen wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

Die Wohnnutzfläche (WNFL) ergibt sich aus 90% der Nettogrundfläche ohne Berücksichtigung der Innenwände, bzw. aus 90% der Bruttogrundfläche (BGF) abzüglich der Konstruktionsgrundfläche der Außenwände (KGF_{AW}):

$$WNFL = (BGF - KGF_{AW}) \times 0{,}9$$

Die übrigen 10% werden pauschal für Innenwände und vertikale Erschließungsflächen angesetzt.

Bei Mehrfamilienwohnhäusern sind durchschnittlich 75% Wohnnutzfläche als Nutzfläche der Aufenthaltsräume anzusehen. Bei den untersuchten Einfamilienhäusern lag das Verhältnis mit 0,7 im Mittel etwas niedriger, was auf mehr Verkehrsflächen und Nebenräume zurückzuführen ist. Für die Ermittlung der Mindesterforderlichen Belichtungsfläche der Modellgebäude nach OIB Richtlinie 3 wurden die Nutzflächen der Aufenthaltsräume einheitlich mit 75% der gesamten Wohnnutzfläche angenommen.

$$NFL_{Aufenth} = WNFL \times 0{,}75$$

Für die Bestimmung der Personenbelegung der Modellgebäude wurde von einer durchschnittlichen Nutzfläche von 43 m² pro Person (42,9 m² lt. Statistik Austria 2009) ausgegangen.

Entsprechend ÖNORM B 8110, Teil 3 gilt sommerliche Überwärmung in Wohngebäuden als vermieden, wenn die empfundene Raumtemperatur während einer Hitzeperiode im jeweiligen Nutzungszeitraum eine festgelegte Grenztemperatur von + 27°C am Tag und +25°C in der Nacht nicht überschreitet. Wird dieser Nachweis für einen als kritisch zu betrachtenden Einzelraum des Gebäudes erbracht, so kann auch für alle übrigen Räume von einer Unterschreitung der Grenztemperatur ausgegangen werden. Entsprechend wurde für die Modellgebäude mit Wohnnutzung jeweils ein süd- oder südwestorientierter Wohnraum im Ober- bzw. Dachgeschoss des Gebäudes als kritischer Testraum definiert.

5.2.1.1. Kleingartenwohnhaus

Typ:	**Kleingartenwohnhaus mit ganzjähriger Wohnnutzung**
Kürzel:	GZH
Beschreibung:	Kleingartenwohnhaus (Kleingartengebiet für ganzjähriges Wohnen) in Passivhausbauweise nach Wiener Kleingartengesetz (max. 50 m² bebaute Fläche, Kubatur über verglichenem Gelände max. 265 m³, oberster Abschluss max. 5,5 m über verglichenem Gelände)
Baukörper:	2 Geschosse (Nettogeschosshöhe = 2,4 m), Kellergeschoss innerhalb der Passivhaushülle, Flachdach, Größe der Fensteröffnungen entsprechen der mindesterforderlichen Belichtungsfläche nach OIB RL 3 (davon 10% nach Norden, je 25% nach Osten und Westen, 50% nach Süden)
BGF:	149,95 m²
WNFL:	64,12 m²
NFL Keller:	32,06 m²
Volumen:	457,34 m³
Hüllfläche:	359,09 m²
AV-Verhältnis:	0,79
Personenbelegung:	statistisch: 1,5 Personen berücksichtigt: 2 Personen
Veränderliche Parameter:	Größe der Glasfläche in der Südfassade
Testraum Sommertauglichkeit:	süd-westorientierter Wohnraum im OG, zwei Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, 10,8 m² Nutzfläche

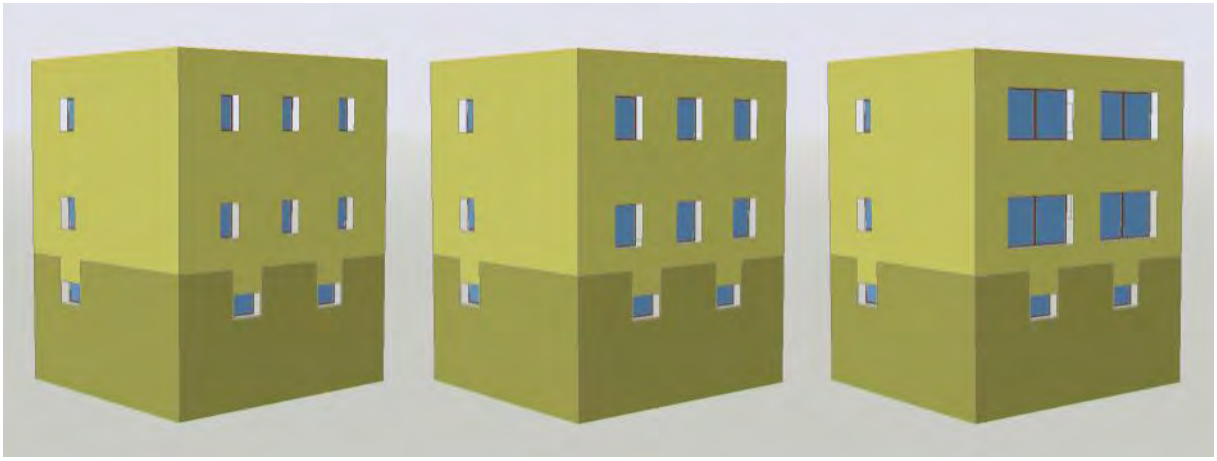


Abbildung 14: Modellgebäudetyp Kleingartenhaus mit unterschiedlich großen südseitigen Verglasungsflächen

5.2.1.2. Einfamilienhaus

Typ:	**Einfamilienhaus**
Kürzel:	EFH
Beschreibung:	durchschnittlich großes Einfamilienhaus in Passivhausbauweise (maximale Fördergröße laut österreichischen Wohnbauförderungsgesetzen beträgt 130 - 150 m² NFL, die durchschnittliche NFL bei Wohnungen von Hauseigentümern beträgt laut Statistik Austria 2009 135 m²)
Baukörper:	kompakter Baukörper (quadratischer Grundriss), 2 Geschosse (Nettogeschoßhöhe = 2,6 m), unterkellert/nicht unterkellert, Flachdach, Größe der Fensteröffnungen entsprechen der mindesterforderlichen Belichtungsfläche nach OIB RL 3 (davon 10% nach Norden, je 25% nach Osten und Westen, 50% nach Süden)
BGF:	179,36 m²
WNFL:	126,11 m²
Volumen:	609,82 m³
Hüllfläche:	436,95 m²
AV-Verhältnis:	0,72
Personenbelegung:	statistisch: 2,96 Personen berücksichtigt: 3 Personen
Veränderliche Parameter:	Größe der Glasfläche in der Südfassade Variante mit Kellergeschoss innerhalb der Passivhaushülle Variante mit einhüftigem Satteldach
Testraum Sommertauglichkeit:	süd-westorientierter Wohnraum im OG, zwei Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, 16,62 m² Nutzfläche

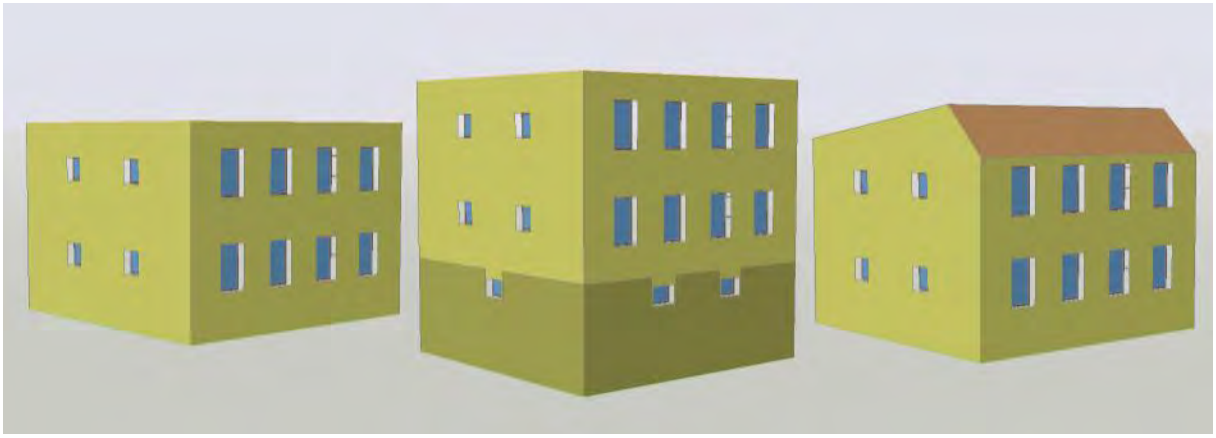


Abbildung 15: Modellgebäudetyp Einfamilienhaus als Grundvariante, mit Keller und mit einhüftigem Satteldach

Abbildung 16: Umsetzungsbeispiel: Das VELUX Sunlighthouse in Pressbaum soll innerhalb von 30 Jahren mehr CO2-Emissionen einsparen, als bei seiner Errichtung und durch den Betrieb verursacht werden. (© Adam Mork, Kopenhagen)

5.2.1.3. Reihenhaus

Da sich die Baukörperform von Reihenhäusern typischerweise nach den für die Belichtung verfügbaren Fassadenflächen richtet, wurden hier ein Ost-West- und ein Nord-Süd-orientierter Reihenhaustyp entwickelt.

Typ:	**Reihenhaus Ost-West**
Kürzel:	RH_ow
Beschreibung:	Ost-West orientiertes Reihenhaus in Passivhausbauweise und durchschnittlicher Einfamilienhausgröße
Baukörper:	langer und schmaler Baukörper, längsseitig angebaut, 2 Geschosse (RH = 2,6 m), nicht unterkellert, Flachdach oder Satteldach, Fensteröffnungen entsprechen der mindesterforderlichen Belichtungsfläche nach OIB RL 3 (50% nach Osten, 50% nach Westen)
BGF:	166,32 m²
WNFL:	126,03 m²
Volumen:	565,49 m³
Hüllfläche:	264,24 m²*
AV-Verhältnis:	0,47*
Personenbelegung:	statistisch: 2,96 Personen berücksichtigt: 3 Personen
Veränderliche Parameter:	Variante mit einhüftigem Satteldach oder Flachdach
Testraum Sommertauglichkeit:	westorientierter Wohnraum im OG, eine Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, 15,8 m² Nutzfläche
	* Flächen die an benachbarte Gebäude grenzen sind hier nicht berücksichtigt

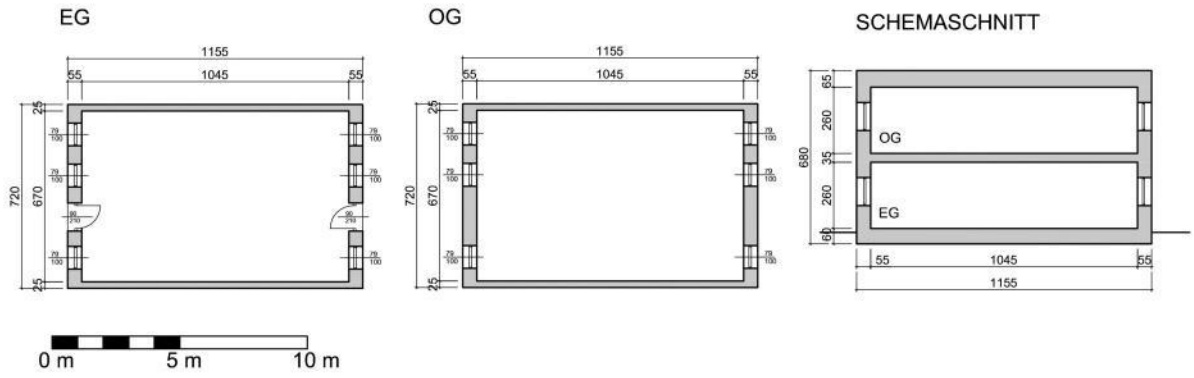


Abbildung 17: Grundrissdarstellung und Schemaschnitt zu Modellgebäudetyp ost-westorientiertes Reihenhaus

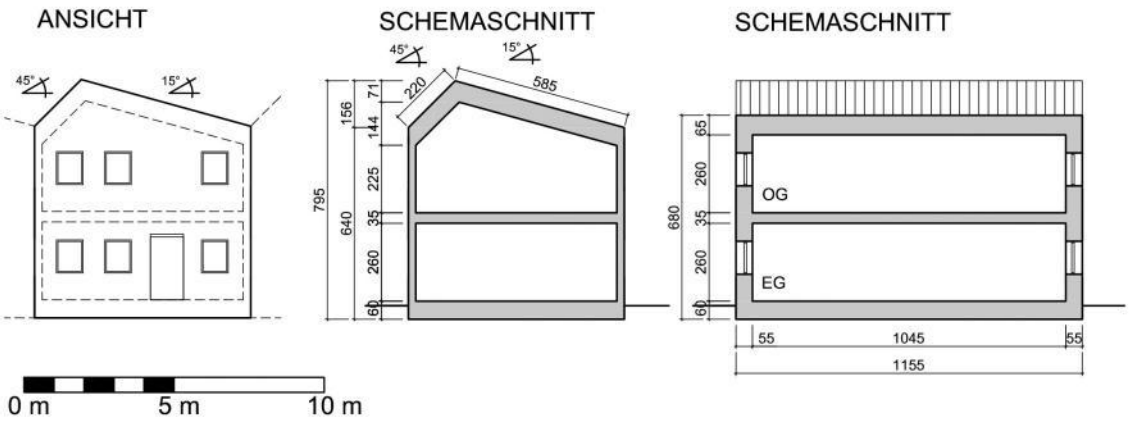


Abbildung 18: Ansicht Ost und Schemaschnitte zu Modellgebäudetyp ost-westorientiertes Reihenhaus mit einhüftigem Satteldach

Typ:	**Reihenhaus Nord-Süd**
Kürzel:	RH_ns
Beschreibung:	Nord-Süd orientiertes Reihenhaus in Passivhausbauweise und durchschnittlicher Einfamilienhausgröße
Baukörper:	langer und schmaler Baukörper, breitseitig angebaut, 2 Geschosse (RH = 2,6 m), nicht unterkellert, Flachdach oder Satteldach, Fensteröffnungen entsprechen der mindesterforderlichen Belichtungsfläche nach OIB RL 3 (50% nach Norden, 50% nach Süden)
BGF:	170,82 m²
WNFL:	126,11 m²
Volumen:	580,19 m³
Hüllfläche:	319,74 m²*
AV-Verhältnis:	0,55*
Personenbelegung:	statistisch: 2,96 Personen berücksichtigt: 3 Personen
Veränderliche Parameter:	Größe der Glasfläche in der Südfassade Variante mit einhüftigem Satteldach oder Flachdach
Testraum Sommertauglichkeit:	südorientierter Wohnraum im OG, eine Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen, 15,8 m² Nutzfläche
	* Flächen die an benachbarte Gebäude grenzen sind hier nicht berücksichtigt

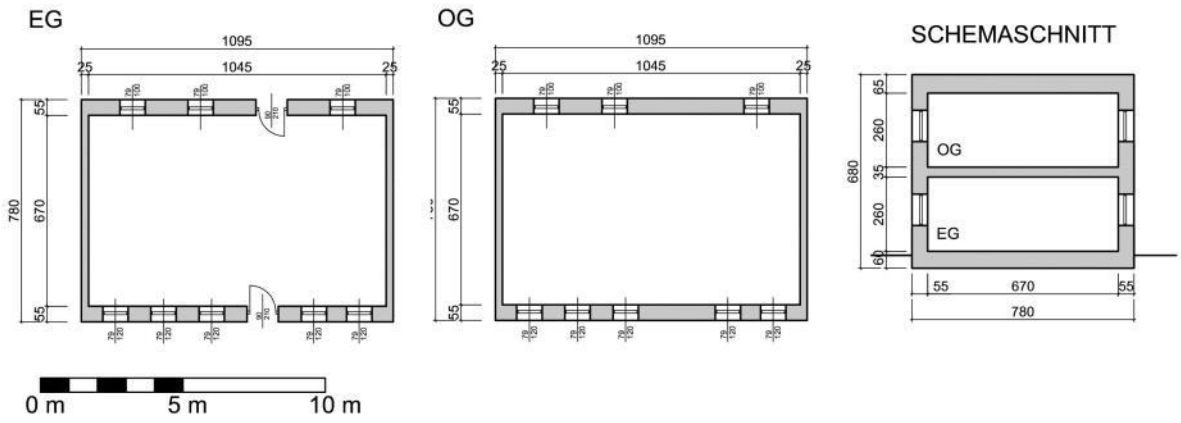


Abbildung 19: Grundrissdarstellung und Schemaschnitt zu Modellgebäudetyp nord-südorientiertes Reihenhaus

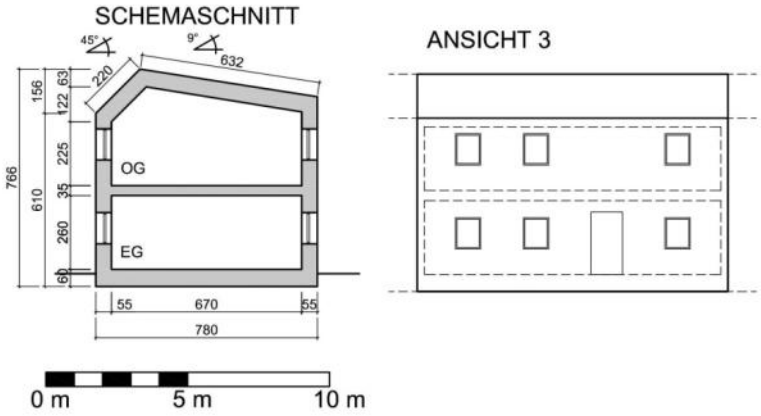


Abbildung 20: Schemaschnitt und Ansicht Süd zu Modellgebäudetyp nord-südorientiertes Reihenhaus mit einhüftigem Satteldach

Abbildung 21: Umsetzungsbeispiel: Plusenergie-Reihenhausanlage in Weiz in der Steiermark. Die 24 Holzfertigteilgebäude wurden in Passivhausqualität ausgeführt. Sie decken mit ihrer

über 1000 m² großen PV-Anlage nicht nur den Eigenbedarf an Strom, sondern erwirtschaften über 1 Jahr bilanziert sogar einen Überschuss. (© ARCH° BUERO KALTENEGGER)

5.2.1.4. Mehrfamilienwohnhaus

Um die Rahmenbedingungen für einen urbanen Mehrfamilienhaus-Prototypen zu definieren, wurde von einem Gebäude in einer „typischen" Wiener Gründerzeitbaulücke ausgegangen. Der Baukörper wird Nord-Süd- als auch Ost-West-orientiert untersucht.

Typ:	**Mehrfamilienhaus**
Kürzel:	MFH
Beschreibung:	Nord-Süd-, bzw. Ost-West-orientiertes Mehrfamilienhaus in „typischer" Wiener Gründerzeitbaulücke, Bauklasse III, geschlossene Bauweise
Baukörper:	länglicher Baukörper (20 m breit, 13 m Trakttiefe, 16 m Gebäudehöhe), beidseitig angebaut, 45° Dachneigung, abgeflachter First mit Nord-Süd-Verlauf, 5 Vollgeschosse und 2 Dachgeschosse (Raumhöhe = 2,6 m), Dachgeschosse teilweise terrassiert, 17 Wohneinheiten (im Schnitt 72,3 m²), Keller außerhalb der Passivhaushülle, Fensteröffnungen entsprechen der mindesterforderlichen Belichtungsfläche nach OIB RL 3 (50% nach Norden, 50% nach Süden)
BGF:	1637,82 m²
WNFL:	1229,05 m²
Volumen:	5025,58 m³
Hüllfläche:	1302,89 m²*
AV-Verhältnis:	0,26*
Personenbelegung:	statistisch: 28,9 Personen berücksichtigt: 29 Personen
Veränderliche Parameter:	Größe der Glasfläche in der Südfassade
Testraum Sommertauglichkeit:	süd- bzw. westorientierter Wohnraum im Dachgeschoss, 45° Dachschräge, Drempelwand innen h= 100 cm, eine Fassadenebene mit Lüftungsöffnung, 10,88 m² Nutzfläche
	* Flächen die an benachbarte Gebäude grenzen sind hier nicht berücksichtigt

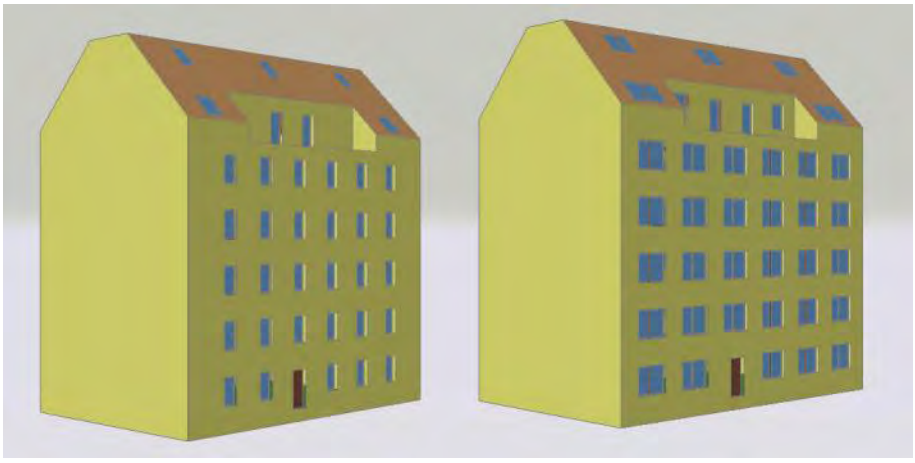


Abbildung 22: Modellgebäudetyp Mehrfamilienhaus mit unterschiedlich großen südseitigen Verglasungsflächen

Abbildung 23: Umsetzungsbeispiel: Plus-Energie-Dachgeschossausbau eines typischen Wiener Gründerzeithauses in der Ybbsstraße in Wien. Das Projekt soll die Anwendbarkeit des Plus-Energie-Konzeptes auf Dachgeschoßausbauten von Gründerzeithäusern aufzeigen. (© Schöberl und Pöll GmbH)

5.2.2. Bürogebäude

Das Modell-Bürogebäude wurde in Bezug auf Größe und Geschoßzahl in Anlehnung an das Chemiehochaus der TU-Wien am Getreidemarkt entwickelt. Die Gebäudetiefe wurde jedoch aktuellen Bürobauprojekten entsprechend von rund 24 m auf 15 m reduziert.

Typ:	**Bürogebäude**
Kürzel:	BÜRO
Beschreibung:	Ost-West- bzw. Nord-Süd-orientiertes, neungeschossiges, freistehendes Bürogebäude, in Anlehnung an das Chemiehochhaus der TU-Wien am Getreidemarkt (ca. 230 APL bei 30 m² NGF/APL, 9 Geschoße von OG 2 bis OG 10), Flachdach
Baukörper:	länglicher, hoher Baukörper mit Flachdach
BGF:	6750,00 m²
NGF:	5737,50 m²
Volumen:	27600,00 m³
Hüllfläche:	6284,00 m²
AV-Verhältnis:	0,23
Personenbelegung:	ca. 230 Arbeitsplätze (bei 25m² NGF/APL)
Veränderliche Parameter:	Verglasungsanteil in der Fassade (Brüstungsbereich opak, Vollverglasung, Vollverglasung mit PV im Brüstungsbereich)
Testraum Kühlbedarf:	Grundfläche ca. 44 m², im Achsmaß von der Fassade bis zur Gebäudemitte aus dem Regelgeschoss ausgeschnitten, eine Fassadenebene mit Lüftungsöffnungen

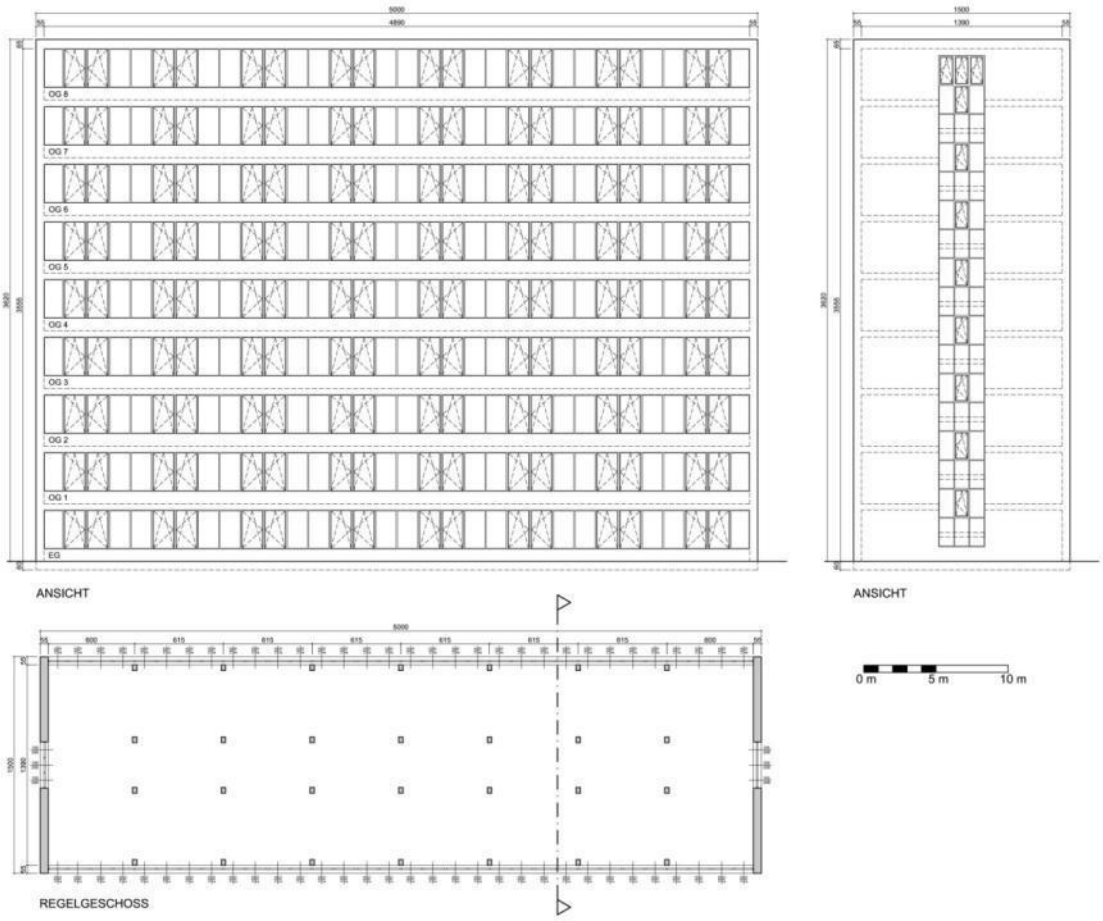


Abbildung 24: Ansichten und Regelgeschoss-Grundriss zu Modellgebäudetyp Bürohochhaus

Abbildung 25: Umsetzungsbeispiel ENERGYbase: Das Bürogebäude in Passivhausbauweise in Wien vereint Energieeffizienz und erneuerbare Energien mit höchstem Nutzerkomfort. (© Hurnaus)

5.2.3. Gewerbebetrieb

Für den Prototypen Gewerbebetrieb sollte ursprünglich eine Werkshalle in Anlehnung an die neue Werkshalle des Instituts für Fertigungstechnik (IFT) der TU-Wien entwickelt werden. Die Pläne zur Errichtung eines Neubaus wurden mittlerweile überholt. Stattdessen ist derzeit eine Sanierung und Umnutzung der „Siemens-Halle“ im Arsenal Center (Objekt 221) vorgesehen. Der Werkshallen-Prototyp wurde daher lediglich in Bezug auf seine Größe und die dreischiffige Baukörperform an die „Siemens-Halle“ angelehnt.

Typ:	**Werkshalle IFT**
Kürzel:	WIFT
Beschreibung:	dreischiffige, freistehende Werkhalle (ohne angebauten Büro-, Verwaltungstrakt), in Anlehnung an die neue Werkhalle des IFT (Nettogrundfläche ca. 3000 m² ohne Büroflächen), Flach- bzw. Pultdach, überhöhtes Mittelschiff für seitliche Belichtung der Mittelhalle
Baukörper:	kompakter Baukörper mit Flach- bzw. Pultdach und überhöhtem Mittelschiff
BGF:	3144,69 m²
NGF:	3048,25 m²
Volumen:	35945,09 m³
Hüllfläche:	9006,90 m²
AV-Verhältnis:	0,25
Personenbelegung:	für einzelne Räum entsprechend dem Raumbuch zur Sanierung und Umnutzung der „Siemens-Halle“ im Arsenal Center
Veränderliche Parameter:	Ost-West-verlaufender Sheddachkonstruktion

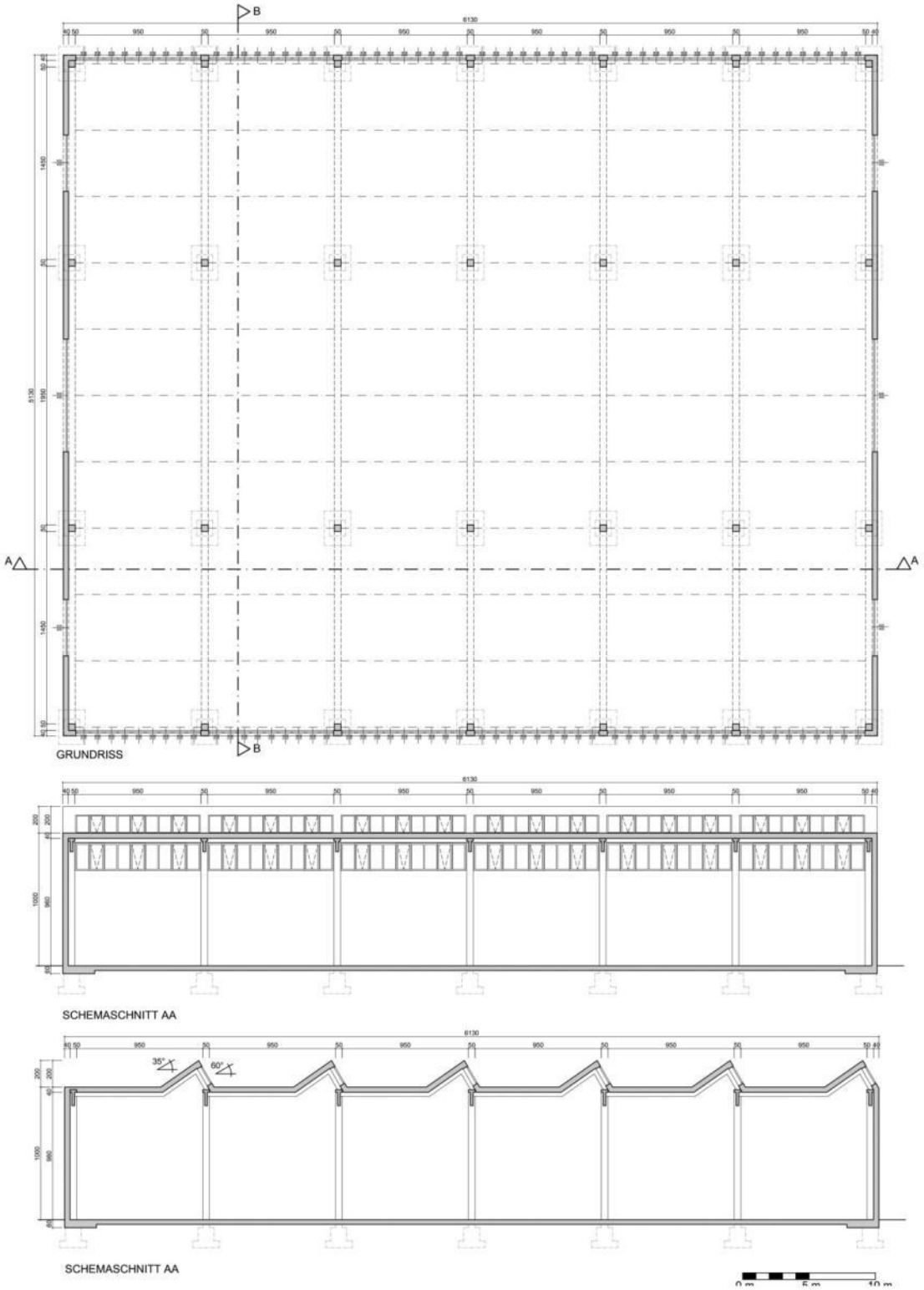


Abbildung 26: Grundriss und Schemaschnitte zu Modellgebäudetyp Werkshalle mit Flachdach und mit Sheddachkostruktion

5.3. Entwurfs- und Planungsstrategien

5.3.1. Voraussetzungen und Maßnahmen zum Plus-Energie-Standard

Das Plus-Energie-Gebäude kann als konsequente Weiterentwicklung des Passivhaus-Gedankens verstanden werden, denn zur Erzielung eines Plus-Energiestandards genügt es nicht Gebäude mit erneuerbaren Energiesystemen auszurüsten. Vielmehr müssen regenerative Energien als Teil eines Gesamtenergiekonzeptes verstanden werden, das in einem integralen Planungsprozess unter Berücksichtigung bauphysikalischer und humanökologischer Aspekte erarbeitet wird.

An erster Stelle steht dabei die Optimierung der Energieeffizienz des Gebäudes durch Maßnahmen wie sehr gute Wärmedämmung, effiziente Wärmerückgewinnung, Kompaktheit des Baukörpers und Nutzung passiver Solarenergiegewinne (vgl. Tabelle 7). Auch durchdachte Strategien zur natürlichen Belichtung, Belüftung und Kühlung, sowie die geschickte Anordnung unterschiedlicher Nutzungsbereiche und Temperaturzonen tragen zur Energieeffizienz von Gebäuden bei.

In einem weiteren Planungsschritt muss eine konsequente Reduktion des Energiebedarfs durch den Einsatz energieeffizienter Gebäudetechnik, Beleuchtung und Verbrauchsgeräte erfolgen. Intelligente Regelungstechnik und elektrisches Lastmanagement spielen dabei eine zunehmende Rolle. Der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den späteren tatsächlichen Energieverbrauch sollte dabei nicht unterschätzt und in der Planung entsprechend berücksichtigt werden.

Erst das dritte Maßnahmenbündel betrifft schließlich die Einbindung regenerativer Energiesysteme in das Gesamtkonzept zur Deckung des (Rest-)Energiebedarfs.

Tabelle 7: Maßnahmenbündel zur Erreichung des Zielstandard Plusenergie (Quelle: in Anlehnung an Österreicher, 2010)

Maßnahmenbündel zur Erreichung des Zielstandard Plusenergie (ohne Wertung und Anspruch auf Vollständigkeit)	
Steigerung der Gebäudeenergieeffizienz durch konstruktive Maßnahmen	• sehr gute Wärmedämmung • Wärmebrückenfreiheit der Gebäudehülle • kompakte Bauweise • passive Solarenergienutzung • effiziente Wärmerückgewinnung • Nutzung von Speichermasse • natürliche Belichtung • natürliche Belüftung • passive Kühlung • geeignete Verschattungssysteme • Gebäudezonierung • …
Reduktion des Energiebedarfs durch effiziente Gebäudetechnik und Geräte	• energieeffiziente Haustechnik (Heizung, Lüftung, Kühlung, …) • energieeffiziente Beleuchtung • energieeffiziente Transportsysteme (Lift,…) • energieeffiziente Haushaltsgeräte/Büroausstattung • Wasserspararmaturen (Warmwasserverbrauch) • intelligente Regelungstechnik • elektrisches Lastmanagement • …
Einbindung erneuerbarer Energiesysteme	• Photovoltaik • Solarthermie • Wärmepumpe (Erdwärme, Umgebungswärme, …) • Biomasse • Kraft-Wärme-Kopplung • Kleinwindkraft • Kleinwasserkraft • …

5.3.2. Planungsleitsätze aus den Simulationsstudien

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Simulationsstudien lassen sich einige Planungsleitsätze für die Optimierung der architektonischen Rahmenbedingungen von Plusenergiegebäuden zusammenfassen:

- Eine Berücksichtigung der lokalen klimatischen Gegebenheiten ist für die Optimierung der architektonischen Rahmenbedingungen von Plusenergiegebäuden unbedingt erforderlich.
- Durch Vergrößerung der südseitigen Glasflächen lassen sich die passiven solaren Gewinne steigern und der Heizwärmebedarf senken, zugleich steigt jedoch die Gefahr einer sommerlichen Überwärmung.
- Tendenziell nehmen die erzielbaren Energieeinsparungen durch Öffnung der Südfassade mit zunehmender Seehöhe des Gebäudestandortes zu.
- Zugleich nimmt das Risiko einer sommerlichen Überwärmung mit zunehmender Seehöhe des Gebäudestandortes tendenziell ab.
- Eine exakte Südorientierung der Südfassade ist sowohl für den Heizwärmebedarf, als auch für die sommerlich auftretenden Raumtemperaturen gegenüber einer Verschwenkung nach Osten oder Westen von Vorteil.
- Der zu erwartende Kühlbedarf und die maximal auftretenden Raumtemperaturen liegen in westlich orientierten Räumen in der Regel nur geringfügig höher als in gleichen Räumen mit östlicher Orientierung. Betrachtet man das Tagesmaximum der Kühlleistung (bzw. die Kühllast), so fällt die Differenz zwischen östlicher und westlicher Orientierung wesentlich höher aus.
- Die verfügbare Speichermasse spielt vor allem bei großen südseitigen Glasflächen zur Erzielung von angenehmen Raumtemperaturen im Sommer eine wesentliche Rolle.
- In dichtverbauten stadträumlichen Situationen spielt die Straßenbreite bei ost-westorientierten Gebäudestandorten kaum eine Rolle. Bei nord-südorientierten Gebäuden hingegen wirkt sich der Gebäudeabstand über die Fassadenverschattung deutlich auf die erzielbaren passiven solaren Gewinne und damit auf den Heizwärmebedarf aus.
- Durch den Einsatz einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Lüftungswärmerückgewinnung kann der Heizwärmebedarf drastisch reduziert werden. Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage wirkt sich dabei stark auf die erzielbare Energieeinsparung aus.
- Durch Anordnung von Lüftungsöffnungen in zwei oder mehr unterschiedlichen Fassadenebenen kann der nächtliche Luftwechsel erhöht und die auftretenden Maximaltemperaturen gesenkt werden. Am Teststandort Wien ist bei Einhaltung der

mindesterforderlichen Belichtungsflächen ohne mögliche Quer- oder Diagonallüftung kaum Sommertauglichkeit erzielbar.

- Dachgeschoßräume mit Schrägverglasungen in Ost-, Süd- oder Westorientierung sind in Bezug auf die Sommertauglichkeit grundsätzlich als kritisch zu sehen. Nur durch Erhöhen der speicherwirksamen Masse, das ermöglichen einer Quer- oder Diagonallüftung und die Ausführung der Schrägverglasung mit Sonnenschutzgläsern bzw. außenliegendem Sonnenschutz können hier angenehme sommerliche Temperaturen gesichert werden.
- Vollverglaste Fassaden schneiden im Bürobau in nördlicher, östlicher und westlicher Orientierung sowohl im Heizfall als auch im Kühlfall schlechter ab als Fassaden mit geringerem Verglasungsanteil. Bei Orientierungen in südlicher Richtung zwischen etwa 105° und 255° können sich größere Verglasungsanteile positiv auf den Heizwärmebedarf auswirken, es ist jedoch fraglich, ob der gleichzeitig erhöhte Kühlbedarf in der Ganzjahresbilanz dadurch ausgeglichen werden kann.

5.3.3. Auswahlkriterien der Energieträgertechnologien im Gebäudebereich

Vor- und Nachteile einzelner Technologien und Systeme für den Einsatz im Gebäudebereich sind entsprechend der spezifisch gestellten Anforderungen und des Gebäudestandortes zu bewerten. Eine Verallgemeinerung ist aufgrund der Komplexität der Systeme und deren Ausführungen grundsätzlich nicht möglich. Eine ausführliche Darstellung von Einflussfaktoren, wie Investitions- und Betriebskosten, CO_2-Emissionen und Wirkungsgrad sowie dem Einsatz erneuerbarer Energiesysteme liefert Kapitel 6.6 und die Planungsleitfäden Teil 1 und Teil 4. Strategien zur Gebäudeintegration von Photovoltaik und Solarthermie bei Entwurf und Planung von gebäudeintegrierter Photovoltaik und solarthermischen Anlagen finden sich in Kapitel 6.2 und den Planungsleitfäden Teil 5 und Teil 6.

5.4. Optimierung im Bestand

Die Entwicklung neuer Richtlinien für die Planung neuer energieeffizienter und nachhaltiger Gebäude ist essentiell als Wissensbasis für das Ausschöpfen aller Möglichkeiten zur Schonung der Umwelt und Erhaltung unserer Ressourcen in der Zukunft. Statistisch gesehen handelt es sich beim Neubau jedoch nur um einen kleinen Teil unseres Gebäudebestands und ein wesentlich breiteres Aktionsfeld bietet die Gebäudesanierung. Nur ein deutliches Anheben der Sanierungsrate von derzeit 1-1,5 % kann (mittelfristig) die Gesamtenergiebilanz des österreichischen Gebäudebestands verbessern. Die europäische Politik hat durch die Gebäuderichtlinie 2010/31/EU daher einen Schritt in Richtung stärkerer Verbindlichkeit gemacht und in der nationalen Umsetzung der Richtlinie wird die Novelle zum Energieausweisvorlagegesetz Sanktionen bei Nicht-Vorlage eines Energieausweises bei Vermietung oder Verkauf von Immobilien vorsehen. Es ist zu erwarten, dass sich dies binnen Kürze doch deutlich auf den Marktwert von Gebäuden auswirken und die Sanierungsrate anheben wird.

Bestandsanalyse und Baualter

Der erste Schritt einer Sanierung ist die sorgfältige Bestandsanalyse. Neben der Beurteilung des spezifischen Bauzustandes eines Gebäudes an Hand von geeigneten „Checks“ oder Analyseprogrammen hilft die Zuordnung zu einer bestimmten „Baualters-Klasse“ für die Erstellung eines ersten Sanierungskonzeptes, weil es typische Herangehensweisen für die Sanierung von Gebäuden unterschiedlichen Baualters gibt. Die wesentlichsten Epochen sind Mittelalter, Barock bis Jugendstil, bis Zwischenkriegszeit und die Betonbauten des 20. Jhdts.

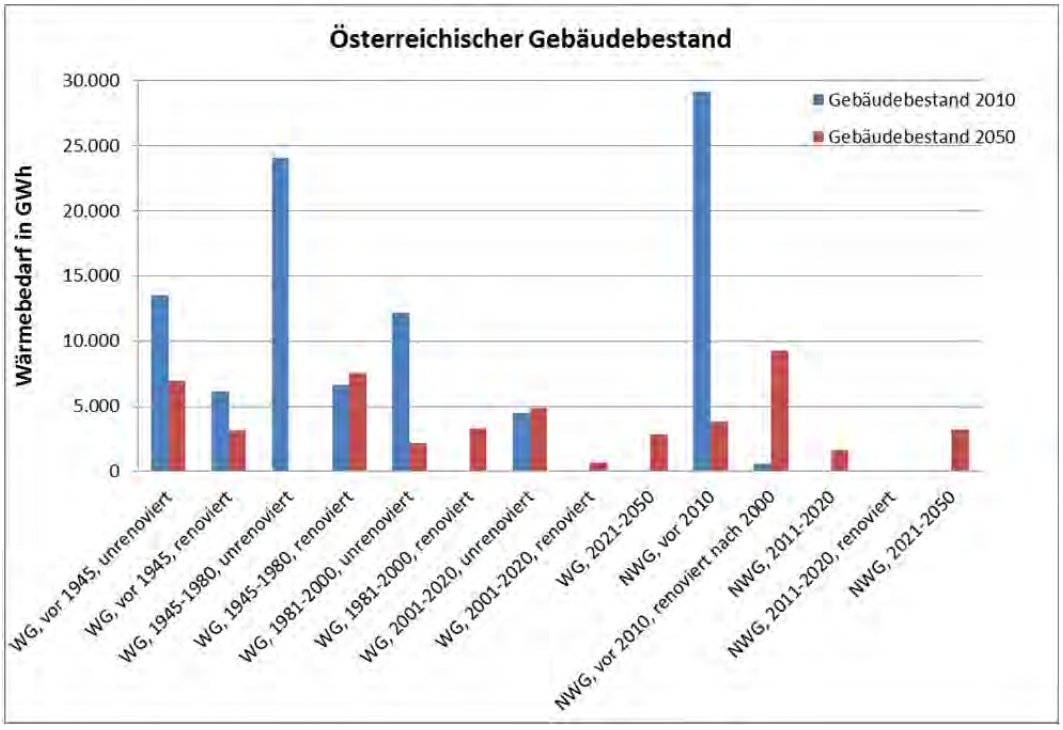


Abbildung 27: Wärmebedarf der Gebäude in GWh (WG...Wohngebäude, NWG...Nicht-Wohngebäude); Quelle: Müller et al 2010, eigene Darstellung

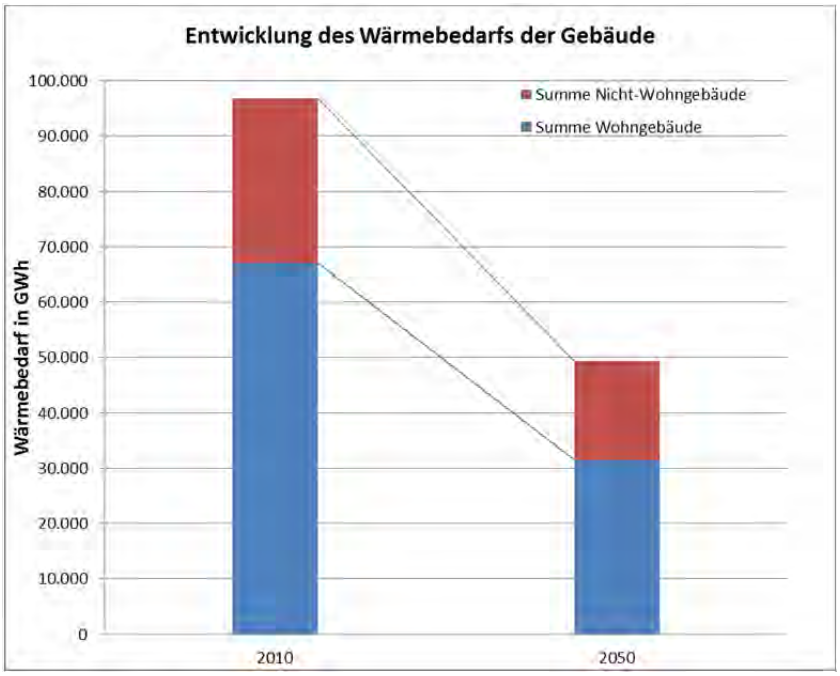


Abbildung 28: Entwicklung des Wärmebedarfs [GWh] des österreichischen Gebäudebestands von 2010 bis 2050 unter Ausschöpfung vorhandener Sanierungspotentiale; Quelle: Müller et al 2010, eigene Darstellung

Vorgangsweise für Gebäude spezifischer Epochen

Der größte Teil der aus dem Mittelalter erhaltenen Gebäude ist aus Natursteinen errichtet. Die Außenwände sind zwar dick, aber thermisch ungünstig, da Stein eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit (λ= 2 - 2,5 W/m^{2}K) besitzt. Doch sind die Gebäude andererseits oft schmucklos und können bei entsprechender Ausführung der Oberflächen und Beachtung der Wärmebrücken gut thermisch verbessert werden.

Bei Gebäuden, die dem Barock, dem Jugendstil und der Zwischenkriegszeit zuordnen sind, lässt sich die meist schmucklose Hoffassade und die oberste Geschoßdecke ebenfalls problemlos dämmen – im Gegensatz zur häufig dekorierten Straßenfassade, wo unter Wahrung großer Sorgfalt (Kondensat-Gefahr!), mit Innendämmung gearbeitet werden muss. Weitere Aufmerksamkeit muss abhängig von der Beschaffenheit des jeweiligen Untergrundes der fehlenden Horizontalabdichtung sowie der aufsteigenden Feuchtigkeit aus dem Erdreich und dem Schlagregen gelten.

Jüngere Bausubstanz wie die vorwiegend aus Beton(fertigteilen) errichteten Mehrfamilien- und Bürobauten des Wiederaufbaus nach dem 2. Weltkrieg, lassen sich zwar meist auch gut dämmen, doch sind die Raumhöhen im Schnitt (zu) niedrig, die Verarbeitung schlecht und es stellt sich daher häufig die Frage, ob sich eine Sanierung überhaupt lohnt. Wärmebrücken sind ein zentrales Problem und müssen geeignet behandelt werden, z.B. mit Hilfe eines dafür geeigneten Simulationsprogrammes berechnet und bereits planerisch entschärft werden.

Abbildung 29: Thermische Sanierungspotentiale in der Fassadengestaltung (Sanierung am Dieselweg in Graz)

Reizvoll können in diesem Zusammenhang die optisch ansprechende Verbauung von Loggien und die (thermische) Neugestaltung von Fassaden sein. Die von der Regierung favorisierte und breit angelegte „Sockelsanierung“ von (primär) Gründerzeitbauten im Rahmen der Dämm-Offensive „Thewosan“ hat den Baustandard ohne Zweifel verbessert. Allerdings wird oft kritisiert, dass der Verbesserungsgrad zu klein angelegt war und in Folge an dieser Bausubstanz für lange Zeit nichts verändert werden wird („Lock-in-Effekt“, vgl. Müller et al 2010).

Dachausbauten spielen für die Sanierung des Gebäudebestandes eine große Rolle. Da sie meist de facto als neues Haus auf einem alten Haus errichtet werden, bietet sich hier die Chance, auch im Altbaubereich Passivhaus- oder sogar Plusenergiehaus-Standard umzusetzen. Die oberste „Schicht“ der Stadtlandschaft bekommt zusätzlich am meisten Sonnenstrahlung ab und es lassen sich passive wie auch aktive solare Gewinne erzielen. Die Bauherren sind oft der Gruppe früher Innovatoren zuzuordnen und bereit, für ihr „Schloss am Dach“ mehr als das unbedingt Nötige zu investieren - von erneuerbarer Energie (thermische Kollektoren für Brauchwassererwärmung und Photovoltaik zur Stromerzeugung) bis zur Regenwassersammlung und Dachbegrünung. Das darunter liegende Gebäude profitiert ebenfalls davon, weil Synergie-Effekte die Entscheidung für die gleichzeitige Sanierung erleichtern. Damit wird die Nutzungsmischung in der Stadt gefördert und es entsteht eine Stadt der kurzen Wege. Dies ist (fast immer) deutlich nachhaltiger als energetisch deutlich bessere Neubauten im Speckgürtel zu errichten, die die Verkehrsbelastung der Städte weiter vergrößern.

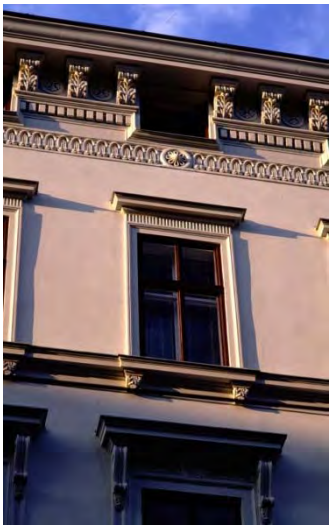


Abbildung 30: Dachbodenausbau in der Maria-Treu-Gasse in Wien von pos-Architekten; Die untere Büroebene liegt noch im Altbau und weist Niedrigstenergie-Standard auf, die darüber liegende, neue Wohnebene hat Passivhaus-Standard.

Umnutzung in der Stadt / am Land

Ein weiteres Potential bietet die Umnutzung von nicht mehr widmungsgemäß nutzbaren Gebäuden. In der Stadt gehören häufig Industriebauten dazu. Hier sollte allerdings eine sorgfältige Analyse vorweg den Weg weisen, da Gebäudestruktur und –zustand eine sinnvolle Sanierung nicht immer zulassen. Im ländlichen Bereich sind es die Ortszentren, wo der alte Baubestand für die Identifikation der Bewohner mit der Gemeinde und die Erhaltung von urbaner Atmosphäre zwar sehr wichtig ist, dies aber meist nicht ausreichend bewusst ist. Dazu kommt, dass v.a. eine Aufwertung der Wohnqualität eine Abwanderung in die nahen städtischen (Rand)Gebiete verhindern kann. Die wirtschaftliche Bedeutung, die viele Regionen in der Zukunft als Naherholungsgebiete für ältere Menschen oder gestresste Stadtbewohner entwickeln können, wird vielfach noch außer Acht gelassen. Nicht zu vergessen ist dabei die Gefahr der Energie-Armut: Wird in sozial schwächeren Siedlungsgebieten nicht rechtzeitig saniert, besteht die Gefahr, dass Betriebskosten bei Steigen der Energiepreise nicht mehr leistbar sind und die Wohnungen daher kalt bleiben. Soziale Spannungen sind in diesem Fall vorprogrammiert. Um mehr Sensibilität für diese Gefahr zu wecken, wurde der Frage nachgegangen, welche Raumtemperaturen sich in Gebäuden unterschiedlicher Standards an kalten Wintertagen einstellen, wenn keine Energie zur Verfügung steht, z.B. weil diese zu teuer ist. Dass der Weg in Richtung bester Standards plus Integration erneuerbarer Energieträger gehen muss – und zwar rechtzeitig, zeigt die folgende Graphik sehr eindrucksvoll.

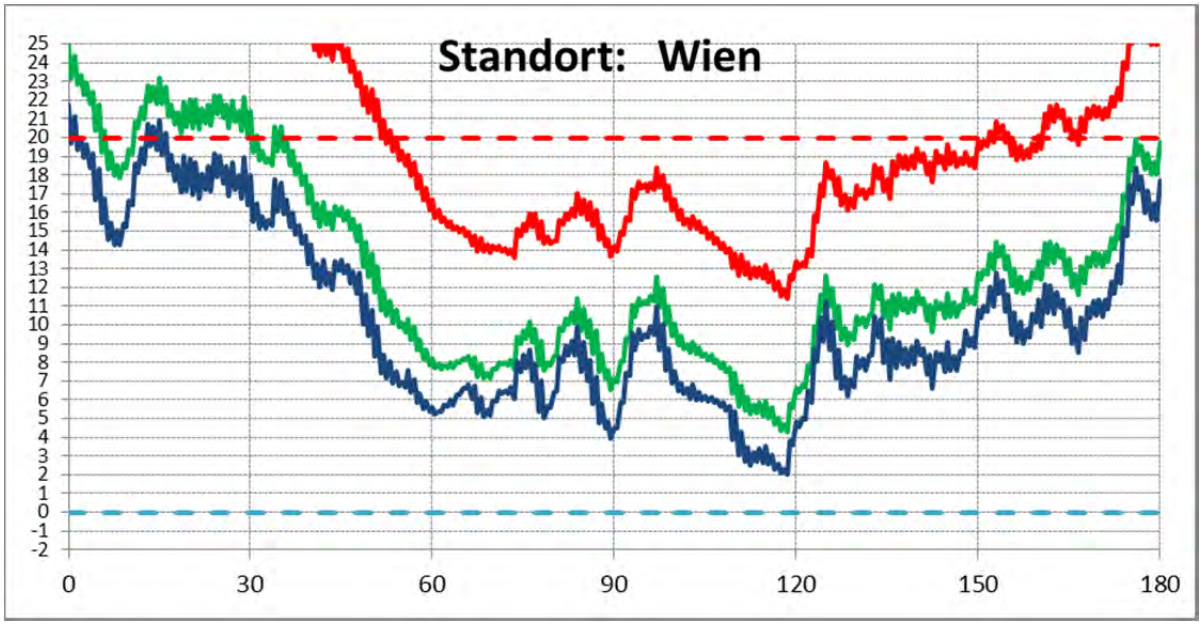


Abbildung 31: Krisenszenario. Temperatur in Gebäuden nach OIB-Richtlinien (blau), in Passivhaus (grün)- und in Plusenergie-Standard (rot) im Winterhalbjahr. Nur wenn die kontrollierte Lüftungsanlage mit Solarstrom läuft, stellen sich ohne weitere Energiezufuhr annehmbare Temperaturen von minimal etwa 12°C ein. An anderen Standorten in Österreich kann die Situation auch deutlich schlechter sein. (© Univ.Prof. DI Dr. Klaus Krec, Ass.Prof. DI Dr. Karin Stieldorf, ANB, TU Wien, 2011)

Innovative Baustoffe und Komponenten

Die thermische Sanierung der Gebäudehülle alter und dicker Außenwände auf einen exzellenten Standard ist mit den herkömmlichen Dämmstoffen schwierig, nicht minder der Einsatz von Innendämmung oder Vakuumdämmung. Äußerste Sorgfalt ist geboten. Je dicker die Wände werden, desto genauer muss die jeweilige Maßnahme mit Hilfe von Wärmebrückenprogrammen geplant werden. PCM's (Phase Change Materials) können nicht immer Sommertauglichkeit herstellen – ihre Wirkung ist begrenzt. Eine weitere Komponente, die falls möglich in der Sanierung angedacht werden sollte, ist die kontrollierte Lüftung um zusätzlich zu Wärmedämmmaßnahmen weitere Energieeinsparungspotentiale zu erzielen.

Ersetzen der einzelnen Bauteile jeweils an ihrem spezifischen Lebensende

Im Idealfall werden die Baumaßnahmen jeweils am Ende der Lebensdauer der jeweiligen Bauteile angesetzt, z.B. Heizanlagen dann ersetzt, wenn sie entweder nicht mehr oder nur sehr schlecht funktionsfähig sind oder Fenster getauscht, wenn der U-Wert nicht mehr zeitgemäß, sondern auch der Rahmen alt und morsch ist. Erhaltungs- und Verbesserungsarbeiten fallen zusammen und der Primärenergieeinsatz für die Maßnahmen wird optimal klein.

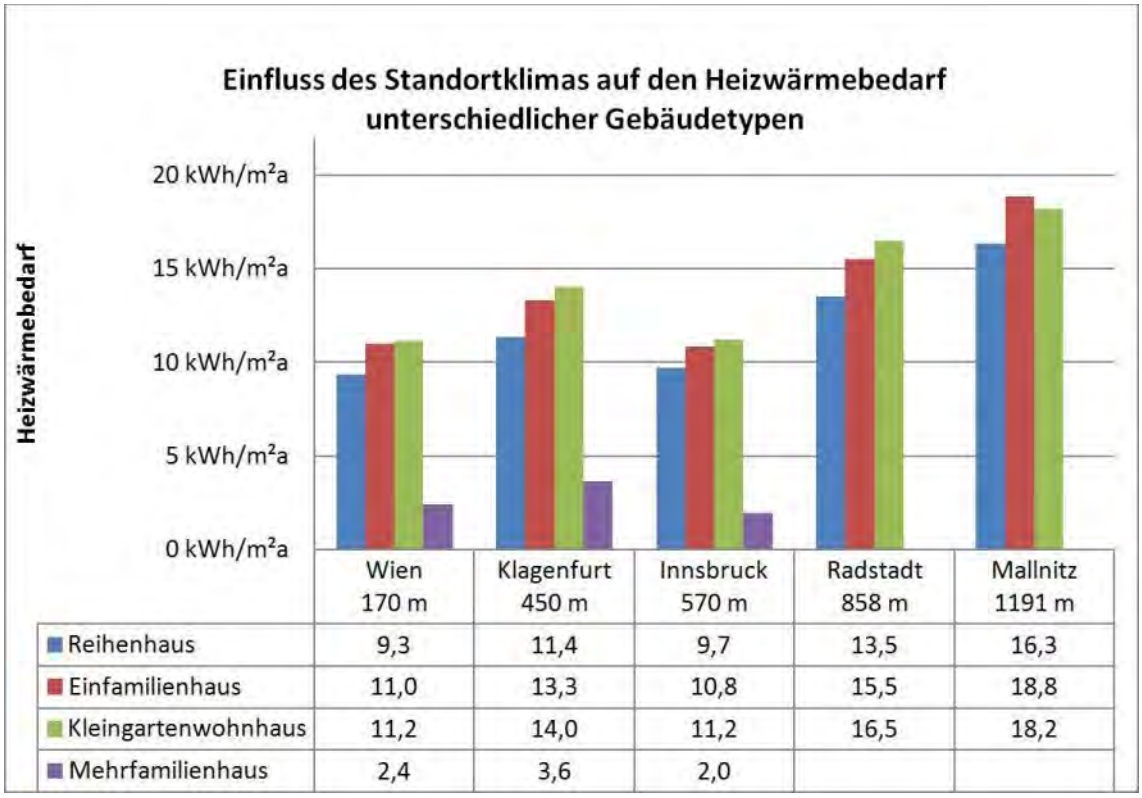
Aktive solare Systeme sollten zeitgleich mit der Dacherneuerung oder einem Dachausbau geplant werden, weil der Montage-Aufwand und damit der wirtschaftliche Einsatz möglichst rationell geplant werden kann. Ebenso wird der Einbau von Wärmepumpen, die mithelfen, die Feuchtigkeit im Kellerbereich zu reduzieren, oder Tiefenbohrungen zur Nutzung von Erdwärme im dicht verbauten Gebiet, am besten gemeinsam mit Umbaumaßnahmen durchgeführt, weil dann die Belastung am kleinsten und die (wirtschaftlichen) Synergien am größten sind.

5.5. Optimierung im Neubau

Basierend auf den Simulationsergebnissen der Parameterstudien zur Optimierung der architektonischen Rahmenbedingungen für die Konzeption hocheffizienter Gebäude-Energiesysteme, werden in den folgenden Kapiteln einige Ergebnisse zu Planungsempfehlungen zusammengefasst. Nähere Informationen zu den durchgeführten Simulationsreihen und detaillierte Ergebnisse finden sich im Anhang.

5.5.1. Standortklima

Die lokalen klimatischen Gegebenheiten spielen bei der energetischen Optimierung von Gebäuden eine entscheidende Rolle. In den durchgeführten Parameterstudien wurden der Heizwärmebedarf und das sommerliche Temperaturverhalten der Modellgebäude an fünf Standorten in unterschiedlichen österreichischen Klima- und Höhenlagen untersucht.



	Wien 170 m	Klagenfurt 450 m	Innsbruck 570 m	Radstadt 858 m	Mallnitz 1191 m
Reihenhaus	9,3	11,4	9,7	13,5	16,3
Einfamilienhaus	11,0	13,3	10,8	15,5	18,8
Kleingartenwohnhaus	11,2	14,0	11,2	16,5	18,2
Mehrfamilienhaus	2,4	3,6	2,0		

Abbildung 32: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfs unterschiedlicher Gebäudetypen in Abhängigkeit des Gebäudestandorts in einem Einzonenmodell. Es werden hier die nach Süden ausgerichteten Gebäude mit Verglasungsvariante V1 (kleinste südseitige Verglasung) dargestellt.

In Abbildung 32 und Abbildung 33 sind die ausgewählten Teststandorte links aufsteigend nach ihrer jeweiligen Höhenlage geordnet. Auf diese Weise ist gut erkennbar, dass der Heizwärmebedarf mit zunehmender Seehöhe tendenziell steigt, während die maximalen sommerlich auftretenden Raumlufttemperaturen sinken. Dieser Effekt lässt sich durch die in der Regel mit zunehmender Seehöhe sinkenden Lufttemperaturen erklären.

Eine Ausnahme bildet in beiden Grafiken der Teststandort Innsbruck. Der Heizwärmebedarf der Modellgebäude ist hier aufgrund der hohen passiven Solarenergiegewinne deutlich geringer als am etwas niedriger gelegenen Standort Klagenfurt. Gleichzeitig liegen auch die sommerlichen Maximaltemperaturen der Raumluft am Standort Innsbruck etwas höher, da die solaren Wärmeeinträge durch die südseitige Verglasung in Innsbruck bei ähnlichen Außenlufttemperaturen etwas größer sind als jene in Klagenfurt. Hier wird erkennbar, dass die Berücksichtigung der lokalen klimatischen Gegebenheiten bei der Optimierung der architektonischen Rahmenbedingungen von Plusenergiegebäuden und gegebenenfalls der Einsatz einer Außenverschattung unverzichtbar sind.

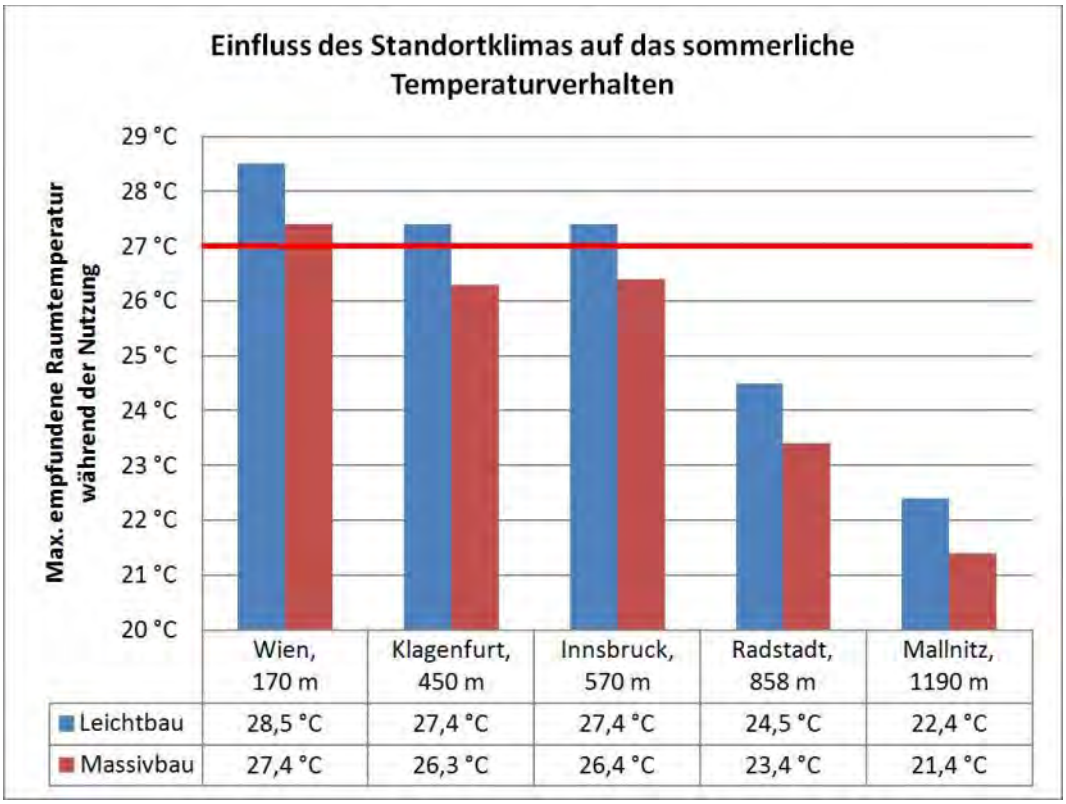
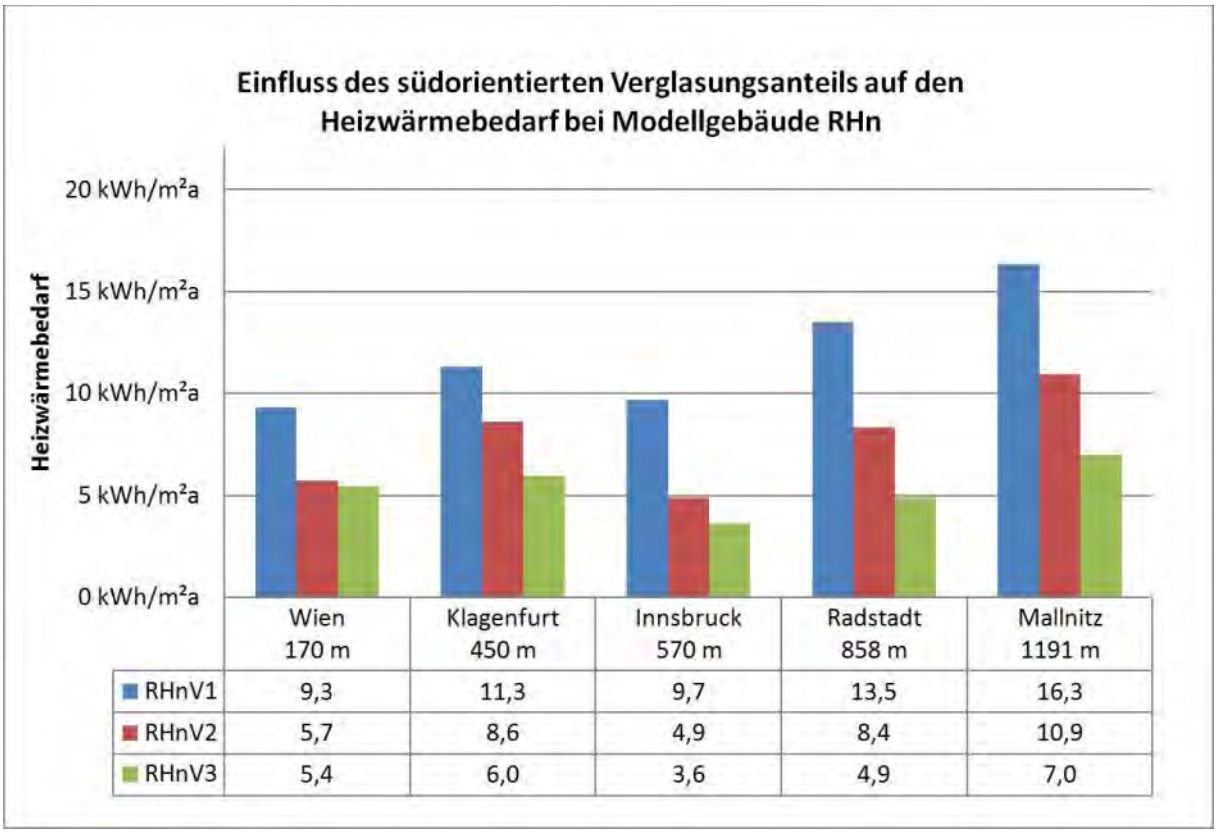


Abbildung 33: Temperaturverhalten des Testraums Einfamilienhaus (EFH) mit großer südorientierter Glasfläche (V3) in der Sommertauglichkeitssimulation an fünf Standorten mit unterschiedlicher Klimalage und Seehöhe.

5.5.2. Südorientierte Verglasungsflächen

In Abbildung 34 ist erkennbar wie stark der Heizwärmebedarf durch eine Vergrößerung des südseitigen Verglasungsanteils und die damit verbundene Steigerung der passiven solaren Gewinne reduziert werden kann. Durch eine Vervierfachung der südorientierten Glasflächen konnte in den Simulationsreihen für verschiedene Gebäudetypen eine Verringerung des Heizwärmebedarfs um 35% bis 64% erzielt werden. In Abbildung 36 zeigen sich jedoch die gegenläufigen Interessen. Durch Vergrößerung der südorientierten Glasfläche (V1 kleinste, V2 doppelte, V3 vierfache südseitige Glasfläche) kann der Heizwärmebedarf zwar reduziert werden (rechte y-Achse, gestrichelt), gleichzeitig wird es jedoch immer schwieriger Sommertauglichkeit zu erreichen (linke y-Achse, durchgezogen).

Wie groß die möglichen Energieeinsparungen tatsächlich sind, hängt unter anderem stark vom jeweiligen Standortklima ab, also von den durchschnittlich auftretenden Lufttemperaturen und Strahlungsintensitäten. Während die auftretenden Lufttemperaturen mit zunehmender Seehöhe in der Regel sinken, nimmt die Strahlungsintensität in größeren Höhenlagen im Allgemeinen zu. Tendenziell sind die erzielbaren Energieeinsparungen durch Vergrößerung der südorientierten Glasflächen hier also höher, während zugleich die Gefahr einer sommerlichen Überwärmung abnimmt (vgl. Abbildung 33). Eine sehr große südseitige Glasfläche ist an den niedriger gelegenen Teststandorten Wien, Klagenfurt und Innsbruck aus Sicht der Sommertauglichkeit auf jeden Fall als kritisch zu betrachten. An den hochgelegenen Teststandorten Radstadt und Mallnitz erreichen die sommerlichen Raumlufttemperaturen auch bei großzügiger Öffnung der Südfassade keine kritischen Werte.



	Wien 170 m	Klagenfurt 450 m	Innsbruck 570 m	Radstadt 858 m	Mallnitz 1191 m
RHnV1	9,3	11,3	9,7	13,5	16,3
RHnV2	5,7	8,6	4,9	8,4	10,9
RHnV3	5,4	6,0	3,6	4,9	7,0

Abbildung 34: Flächenbezogener Heizwärmebedarf des nord-südorientierten Reihenhauses bei unterschiedlich großer südorientiertere Verglasungsfläche an verschiedenen Standorten.

5.5.3. Verglasungsanteil der Fassade im Bürobau

Auch im Bürobau stellt der Verglasungsanteil der Fassade einen sehr wesentlichen Parameter dar. Moderne Glasarchitektur und hohe innere Wärmelasten im heutigen Bürobetrieb haben dazu geführt, dass der jährliche Heizwärmebedarf in Bürobauten in der Regel vom Kühlbedarf überstiegen wird.

In den Simulationsreihen wurden Testraumvarianten mit 50%, 75% und 100% Verglasungsanteil in der Außenwand untersucht. Dabei zeigte sich, dass große Verglasungen in westlicher, nördlicher und östlicher Orientierung sowohl im Heiz-, als auch im Kühlfall nachteilig sind (vgl. Abbildung 35).

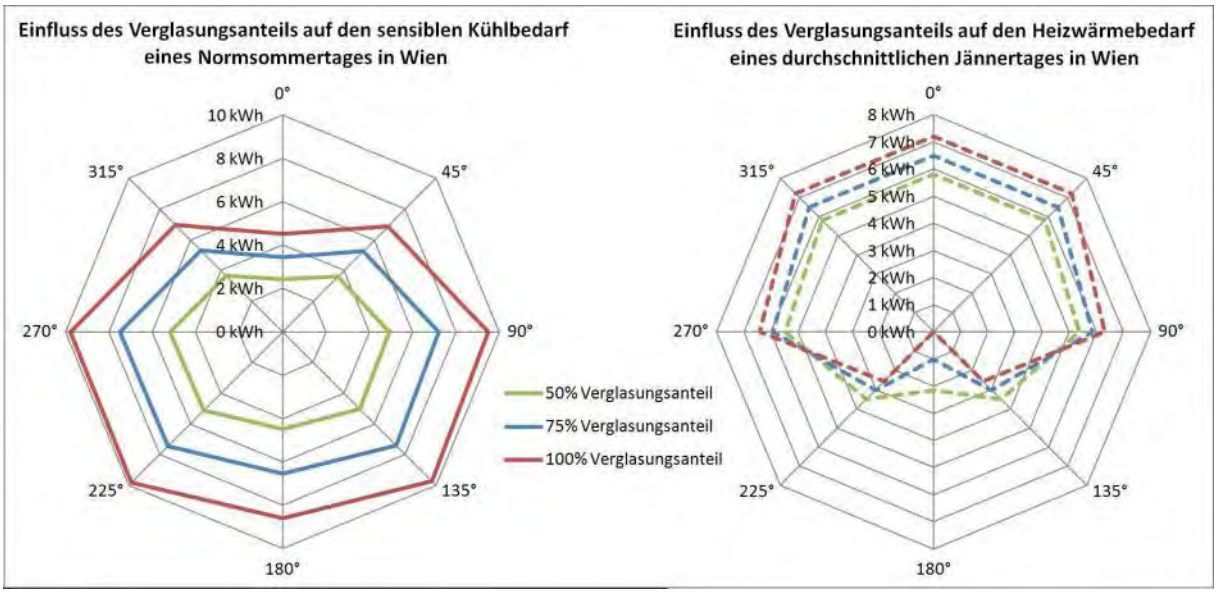


Abbildung 35: Einfluss des Verglasungsanteils in der Fassade auf den sensiblen Kühlbedarf eines Normsommertages und den Heizwärmebedarf eines durchschnittlichen Jännertages im Testraum Büro am Teststandort Wien

Bei Orientierungen in südlicher Richtung zwischen etwa 105° und 255° steigt der Kühlbedarf mit zunehmender Verglasungsgröße noch stärker an, während hier im Winterfall eine Umkehr eintritt. Durch die erhöhten solaren Gewinne im Süden bei niedrigem Sonnenstand sinkt der Heizwärmebedarf der Testräume mit großer Verglasung unter jenen der Testräume mit niedrigerem Verglasungsanteil.

Da der Heizwärmebedarf in modernen Bürogebäuden einen eher geringen Anteil des gesamten Energieverbrauchs ausmacht und die hohen solaren Einträge in südlicher Orientierung auch zu einer deutlichen Verlängerung der Kühlsaison führen können, ist es jedoch unwahrscheinlich, dass sehr große Verglasungen in südlicher Orientierung über das ganze Jahr betrachtet zu einer Energieeinsparung führen.

5.5.4. Orientierung großer Glasflächen

Betrachtet man den Einfluss der Orientierung auf das Gebäude, so zeigt sich, dass eine exakte Südorientierung der Südfassade gegenüber einer Schwenkung nach Osten oder Westen sowohl für den Heizwärmebedarf, als auch für die sommerlich auftretenden Temperaturen von Vorteil ist. Die Strahlungseinträge auf der vertikalen Fassade sind im Winter bei niedrigem Sonnenstand im Süden am höchsten. Bei höherem Sonnenstand im Sommer überwiegen auf der senkrechten Fassade die Strahlungseinträge aus Osten und Westen.

Je nach Standort, Bauweise, Gebäudetyp und Größe der südseitigen Verglasung kommt es daher bei Verdrehen des Gebäudes aus der Nord-Südachse zu einem unterschiedlich starken Anstieg des Heizwärmebedarfs und der sommerlichen Raumtemperaturen.

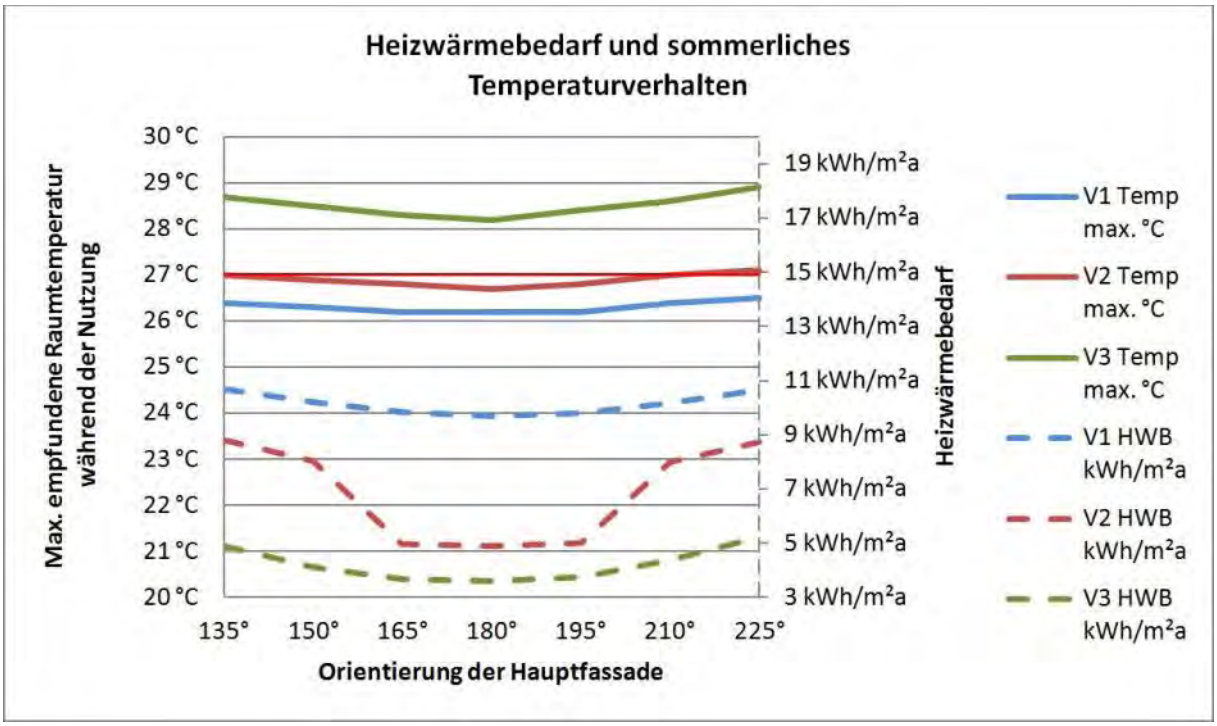


Abbildung 36: Gegenüberstellung der maximal auftretenden sommerlichen Raumtemperaturen in Testraum RHn in Massivbauweise mit dem Heizwärmebedarf des jeweils zugehörigen Modellgebäudes am Standort Innsbruck.

In Abbildung 37 ist der sensible Kühlbedarf des Testraums Büro V1 am Standort Wien in 45°-Schritten für alle Himmelsrichtungen in einer Netzgrafik dargestellt. Auch hier ist deutlich erkennbar, dass der Kühlbedarf bei Südorientierung etwas geringer ausfällt als bei Ost- oder Westorientierung.

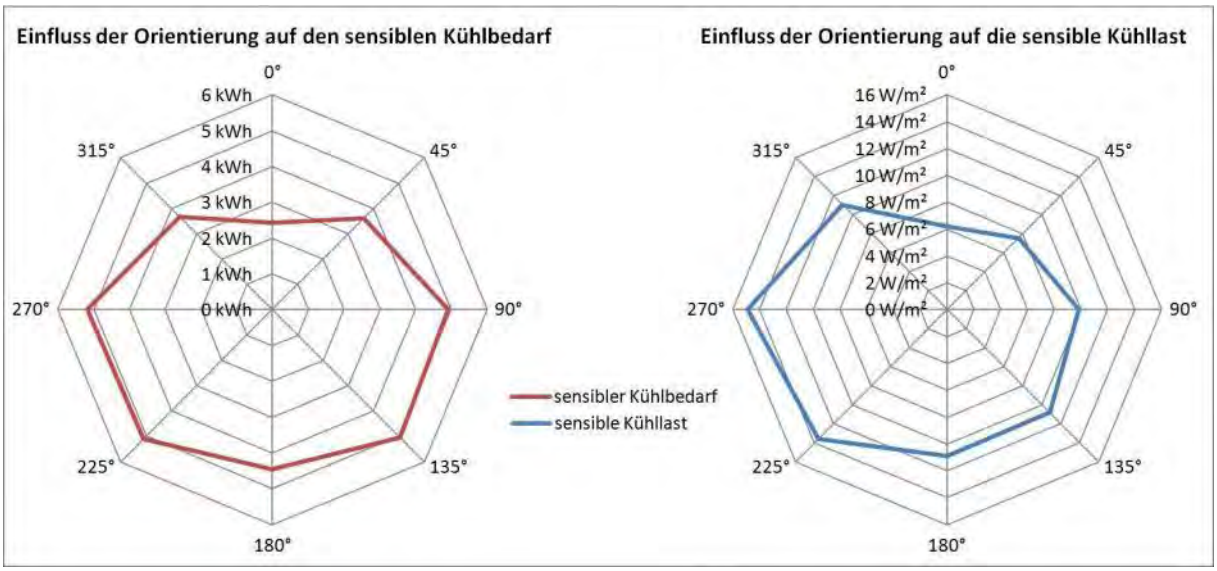


Abbildung 37: Einfluss der Orientierung auf den sensiblen Kühlbedarf und die sensible Kühllast eines Normsommertages am Teststandort Wien für Testraum Büro V1

Nach Osten und Westen erscheint die Ergebniskurve des sensiblen Kühlbedarfs relativ symmetrisch. Anders stellt sich die Situation dar, wenn man die jeweils auftretende Spitze der sensiblen Kühlleistung im Tagesverlauf betrachtet. Hier zeigt sich eine relativ starke Zunahme der sensiblen Kühllast in westlicher Orientierung. Für die Auslegung der

Kühlanlage muss also nicht nur der deutliche Unterschied zwischen Nord- und Südorientierung, sondern auch die ebenso stark ausfallende Differenz zwischen Ost- und Westorientierung der betroffenen Räume berücksichtigt werden.

5.5.5. Speichermasse

Die verfügbare Speichermasse hat einen wesentlichen Einfluss auf das sommerliche Temperaturverhalten von Innenräumen. In den Simulationsstudien lag die Anzahl der nicht sommertauglichen Varianten bei den Testräumen in Leichtbauweise deutlich höher, als bei jenen in Massivbauweise. Der Temperaturunterschied zwischen den Bauweisen lag je nach Gebäudetyp und Standort zwischen 0,6 K und 1,2 K. In Abbildung 38 ist außerdem erkennbar, dass die Differenz zwischen Leicht- und Massivbauweise bei Vergrößerung der südorientierten Glasfläche zunimmt.

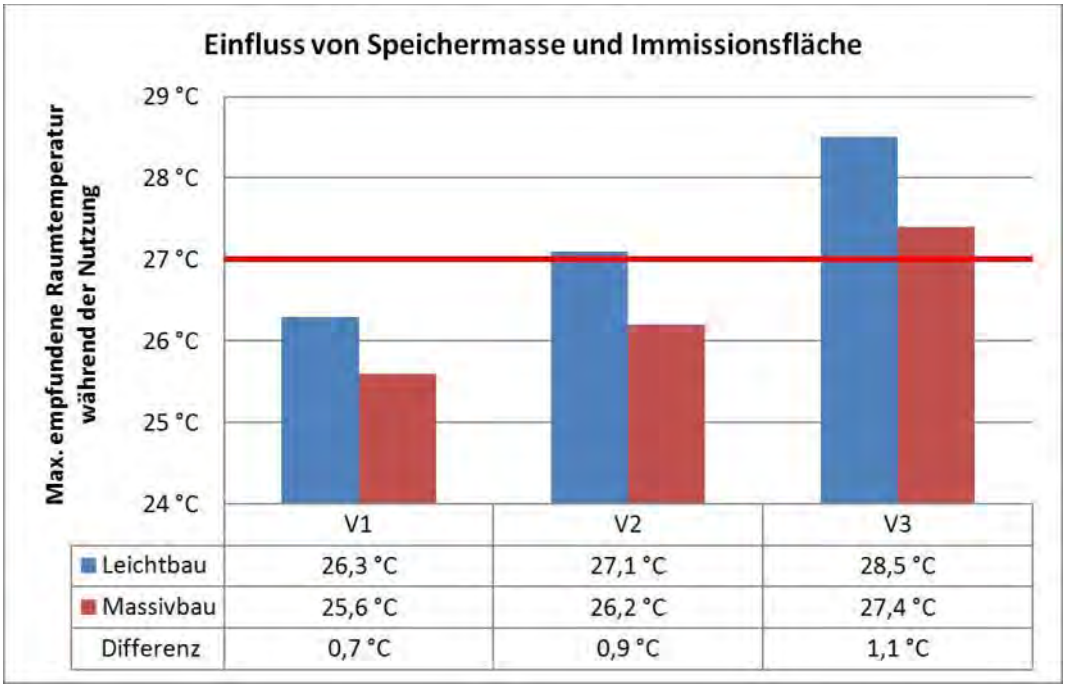


Abbildung 38: Temperaturverhalten des Testraums Einfamilienhaus (EFH) in der Sommertauglichkeitssimulation am Standort Wien mit unterschiedlich großer südorientierter Glasfläche.

5.5.6. Kompaktheit des Baukörpers

Die Kompaktheit von Gebäuden wurde im Zuge der durchgeführten Parameterstudien nicht explizit untersucht. Die Modellgebäude weisen jedoch unterschiedliche Oberflächen-Volumsverhältnisse (A/V-Verhältnis) auf, was sich deutlich auf den jeweiligen Heizwärmebedarf auswirkt.

In Abbildung 32 ist der Zusammenhang zwischen Heizwärmebedarf und der Kompaktheit des Gebäudes gut erkennbar: Das an zwei Seiten an Nachbargebäude grenzende Reihenhaus mit einem A/V-Verhältnis von 0,47 weist einen deutlich niedrigeren flächenbezogenen Heizwärmebedarf auf, als das gleich große freistehende Einfamilienhaus (A/V 0,72) und das deutlich kleinere Kleingartenwohnhaus (A/V 0,79). Den niedrigsten

Heizwärmebedarf weist mit Abstand das beidseitig angebaute und sehr kompakte Mehrfamilienhaus mit einem A/V-Verhältnis von nur 0,26 auf.

5.5.7. Gebäudeabstand im dichtverbauten Stadtraum

Abbildung 39 zeigt, dass das ost-westorientierte und das nord-südorientierte Modellgebäude bei einer typischen Verschattungssituation wie im Wiener Gründerzeitviertel (H1, 30° Verschattungswinkel vom Fassadenfußpunkt) einen annähernd gleichen Heizwärmebedarf aufweisen. Bei Nord-Südorientierung reduziert sich der Heizwärmebedarf bei günstigeren Verschattungsverhältnissen (H2, H3) durch einen größeren Gebäudeabstand erheblich, während der Einfluss der Verschattung auf den Heizwärmebedarf beim ost-westorientierten Modellgebäude gering ist. Je nach Standortklima ist dieser Einfluss ebenso wie die Schwankungsbreite des Heizwärmebedarfs unterschiedlich ausgeprägt.

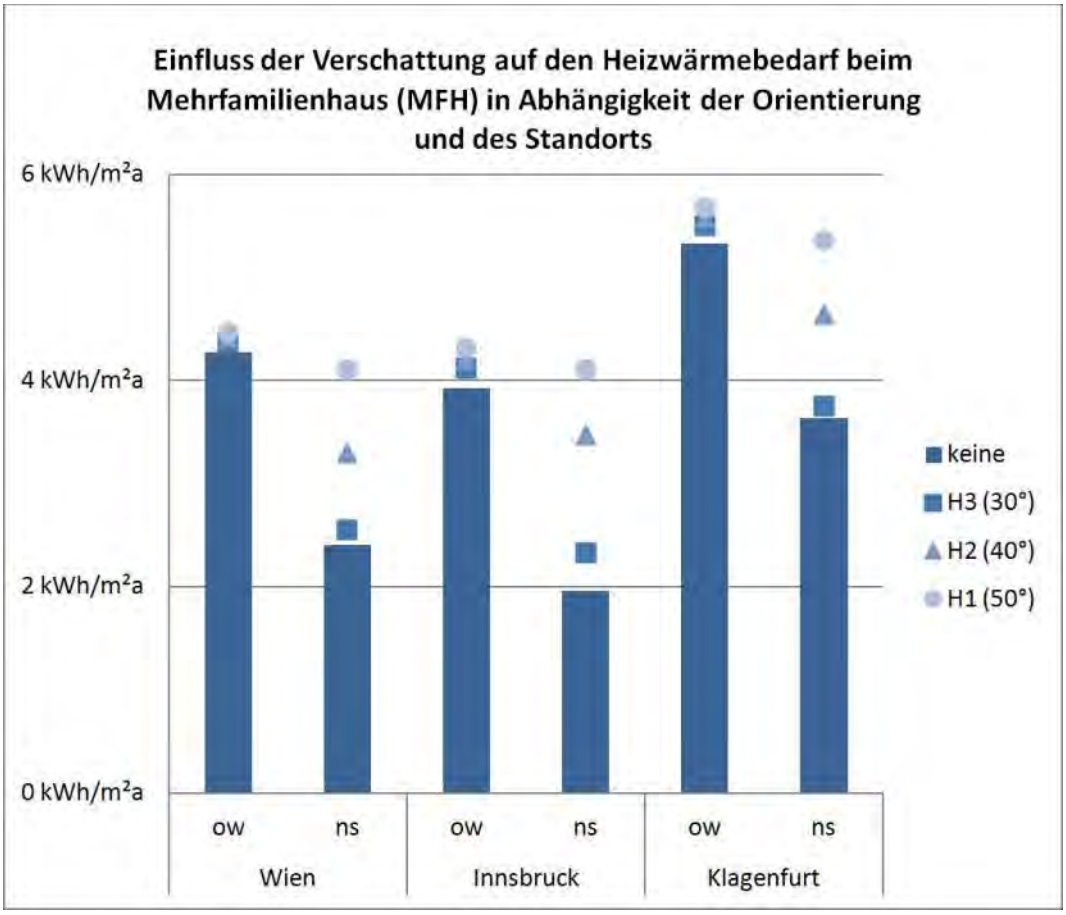


Abbildung 39: Einfluss der Verschattung auf den Heizwärmebedarf beim ost-west- und nord-südorientierten Mehrfamilienhaus (MFHow bzw. MFHns) mit kleinstem Verglasungsanteil (V1) an unterschiedlichen Standorten.

5.5.8. Lüftungswärmerückgewinnung

Durch den Einsatz einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Lüftungswärmerückgewinnung kann der Heizwärmebedarf drastisch reduziert werden. Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage wirkt sich dabei stark auf die erzielbare Energieeinsparung aus. Abbildung 40 zeigt die erzielten Einsparungen am Beispiel des Modellgebäudes Mehrfamilienhaus für unterschiedliche Wirkungsgrade.

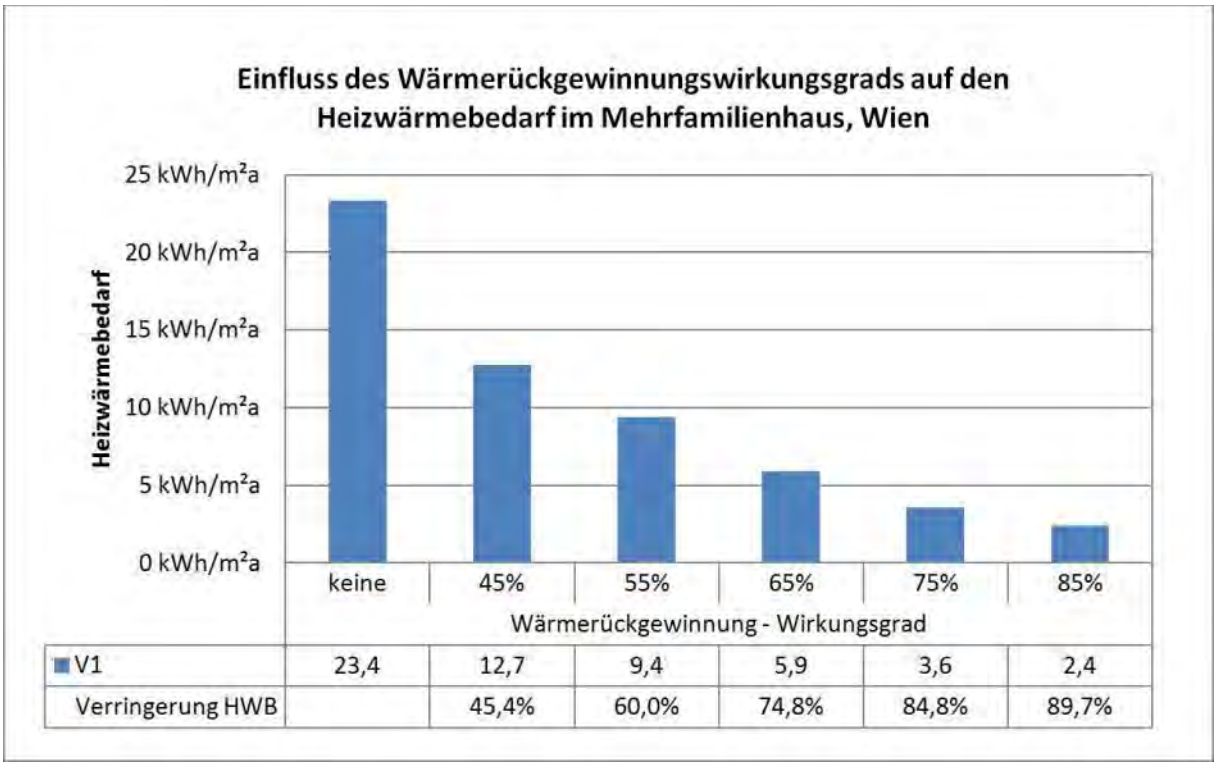


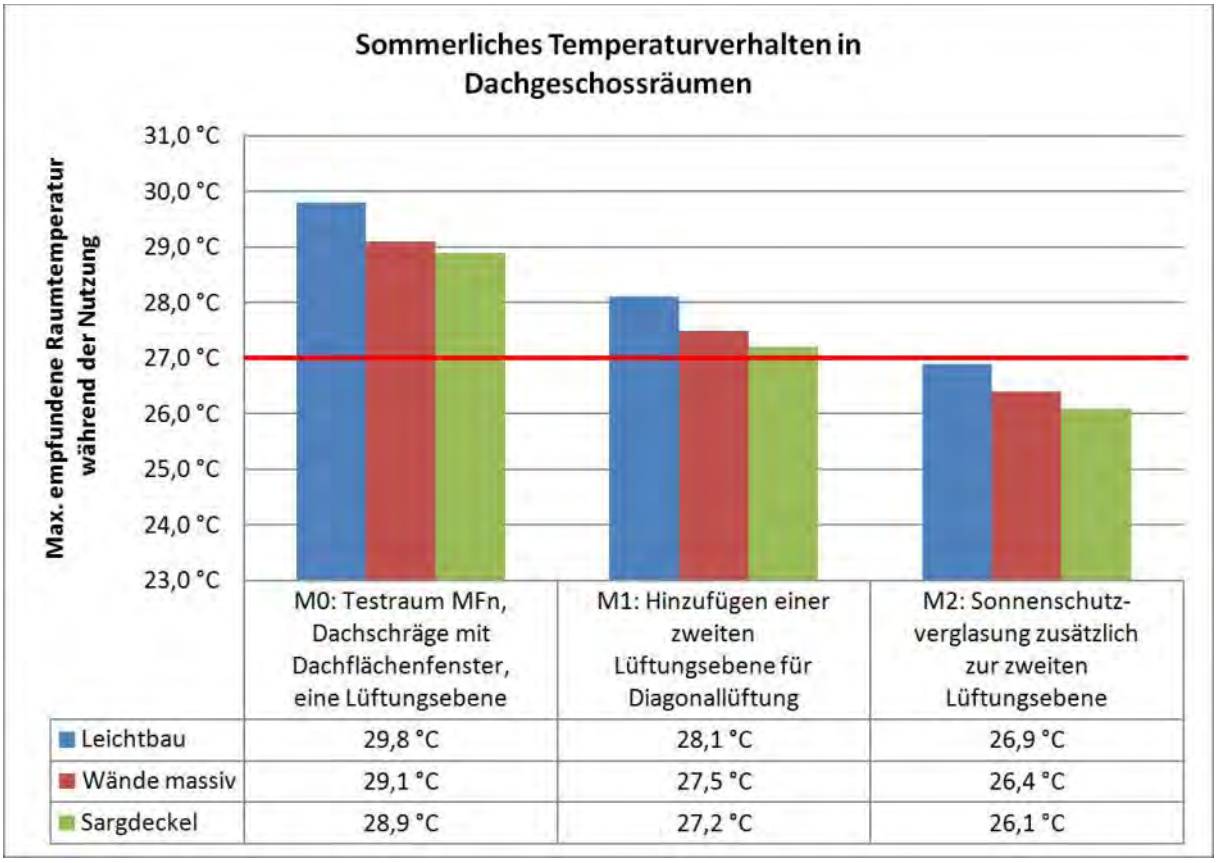
Abbildung 40: Einfluss der Lüftungswärmerückgewinnung auf den Heizwärmebedarf beim Mehrfamilienhaus am Standort Wien, V1.

5.5.9. Nachtlüftung

Für den Erhalt angenehmer Raumtemperaturen während sommerlicher Hitzeperioden spielt die effektive Nachtlüftung in unseren Breitengraden eine wesentliche Rolle. Je höher dabei der Luftwechsel ist, desto stärker ist auch die erzielte Abkühlung und desto niedriger liegen die tagsüber auftretenden Raumlufttemperaturen.

Im Wohnbau kann der nächtliche Luftwechsel durch Anordnung von Lüftungsöffnungen in zwei oder mehr unterschiedlichen Fassadenebenen erhöht und die auftretenden Maximaltemperaturen gesenkt werden. In Abbildung 41 ist erkennbar wie sich das Hinzufügen einer zweiten Lüftungsebene (M1) auf die Raumtemperatur im Testraum nord-südorientiertes Mehrfamilienhaus auswirkt.

Am Teststandort Wien kann in den südorientierten Testräumen mit nur einer Lüftungsebene auch bei mindesterforderlicher Belichtungsfläche nach OIB-Richtlinie kaum Sommertauglichkeit erzielt werden.



	M0: Testraum MFn, Dachschräge mit Dachflächenfenster, eine Lüftungsebene	M1: Hinzufügen einer zweiten Lüftungsebene für Diagonallüftung	M2: Sonnenschutz-verglasung zusätzlich zur zweiten Lüftungsebene
Leichtbau	29,8 °C	28,1 °C	26,9 °C
Wände massiv	29,1 °C	27,5 °C	26,4 °C
Sargdeckel	28,9 °C	27,2 °C	26,1 °C

Abbildung 41: Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Verbesserung der Sommertauglichkeit von Testraum nord-südorientiertes Mehrfamilienhaus (MFHn) am Standort Innsbruck.

Auch im Bürobau spielt die Nachtabkühlung eine sehr wesentliche Rolle. In Abbildung 42 ist erkennbar wie stark der sensible Kühlbedarf eines Normsommertages durch Erhöhen der Luftwechselzahl von 1,5 1/h (Fensterlüftung nach ÖNORM B 8110-5) auf 2,5 1/h (verstärkte Nachtlüftung über RLT-Anlage) gesenkt werden kann.

Bei der Nachtlüftung über die RLT-Anlage muss beachtet werden, dass die Anlage normalerweise auf den 1,5-fachen Luftwechsel dimensioniert wird und ein höherer Luftwechsel zu einer Überdimensionierung der Anlage führt. Weiters muss auf die Temperaturerhöhung des der Zuluft durch den Ventilator geachtet werden. Es ist somit eine natürliche Nachtlüftung anzustreben.

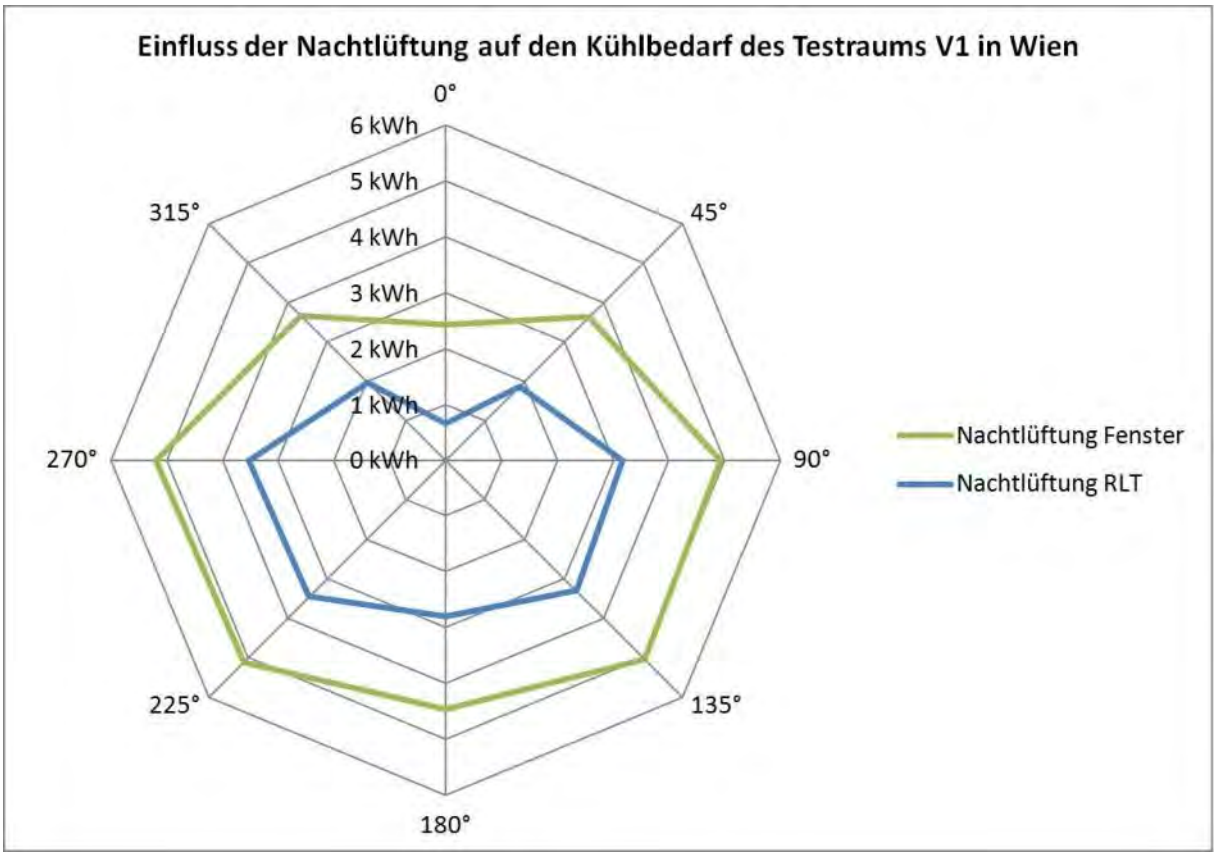


Abbildung 42: Einfluss der Nachtlüftung auf den sensiblen Kühlbedarf eines Normsommertages in Testraum Büro V1 am Teststandort Wien

5.5.10. Schrägverglasungen

Die durchgeführten Simulationsreihen zeigen, wie schwierig es durch die hohen Solarenergieeinträge ist, in Dachgeschoßräumen mit Schrägverglasung angenehme sommerliche Temperaturen zu erreichen. Selbst bei mindesterforderlicher Belichtungsfläche treten in der Sommertauglichkeitssimulation an den Standorten Wien, Innsbruck und Klagenfurt im Testraum weit über dem Grenzwert liegende Temperaturen auf.

Durch Erhöhen der speicherwirksamen Masse (Wände in Massivbauweise, Sargdeckel), Einfügen einer zweiten Lüftungsebene und die Ausführung der Schrägverglasung mit speziellen Sonnenschutzgläsern (niedriger g-Wert) konnte in der Simulation Sommertauglichkeit erreicht werden.

5.5.11. Verglasungsart

Auch bei der Fassadengestaltung von Bürogebäuden ist neben dem U-Wert der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der eingesetzten Gläser von Bedeutung. In den durchgeführten Simulationsreihen wurde eine durchschnittliche Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung, einer gewöhnlichen Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung und einer Passivhausverglasung aus speziellem Weißglas mit relativ hohem Lichttransmissions- (τ_s) und Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) gegenübergestellt.

Da die Passivhausverglasung mit Weißglasscheiben und die Zweischeibenverglasung in Bezug auf den g-Wert kaum voneinander abweichen, liegt auch der sensible Kühlbedarf der

beiden Verglasungsvarianten nahe beieinander (vgl. Abbildung 43). Bei der herkömmlichen Dreischeibenverglasung ist der g-Wert deutlich geringer und damit fällt auch der Kühlbedarf niedriger aus.

Betrachtet man den Winterfall, so spielt der U-Wert die ausschlaggebende Rolle. Der Heizwärmebedarf der beiden Varianten mit Dreischeibenverglasung und ähnlichem U-Wert unterscheidet sich kaum. Die Zweischeibenverglasung mit dem deutlich höheren U-Wert schneidet in dieser Simulationsstudie jedoch auch im Winterfall in allen Orientierungen am schlechtesten ab.

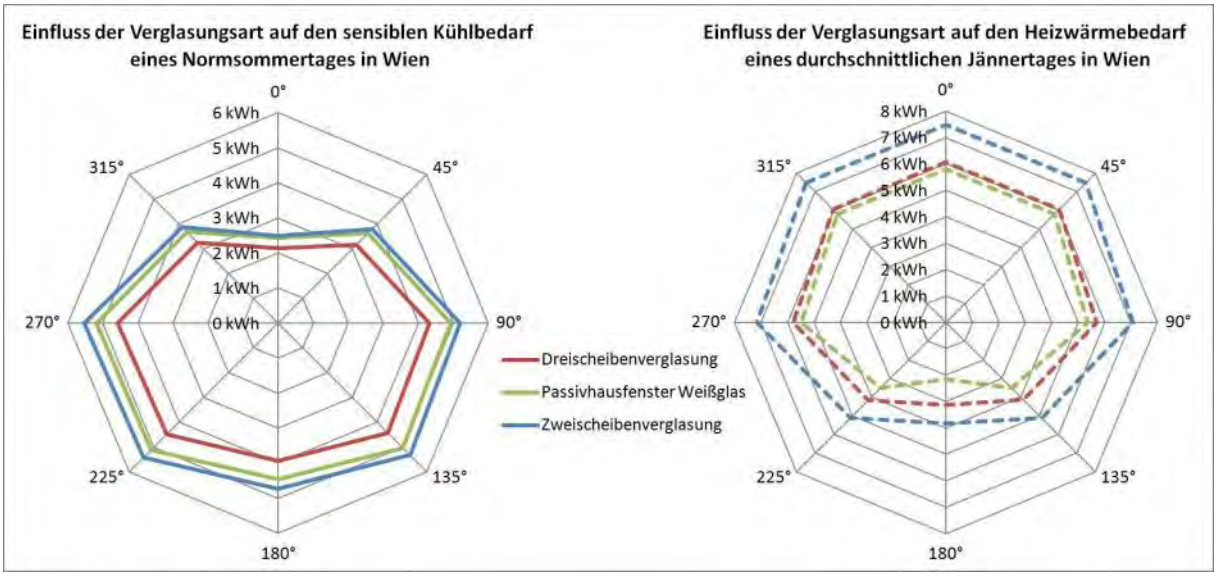


Abbildung 43: Einfluss der Verglasungsart auf den sensiblen Kühlbedarf eines Normsommertages und den Heizwärmebedarf eines durchschnittlichen Jännertages im Testraum Büro V1 am Teststandort Wien

6. Aktive und passive Komponenten eines Plusenergie-Hauses

6.1. Raummodell und Behaglichkeit

6.1.1. Raumklima und Behaglichkeit

Thermische Behaglichkeit stellt sich ein, wenn:

- der Körper in einem thermischen Gleichgewicht[4] mit der Umgebung steht und
- das Umgebungsklima unserer Erwartung entspricht.

Dementsprechend kann thermische Behaglichkeit nach zwei Modellen, dem Wärmebilanzmodell und dem Erwartungsmodell beschrieben werden.

Das Wärmebilanzmodell berücksichtigt, dass das menschliche Wärmeempfinden im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht des Körpers als Ganzem abhängt. Die dazugehörigen Umgebungsbedingungen für thermische Behaglichkeit sind in der EN ISO 7730 beschrieben. Zur Beurteilung der Behaglichkeit wurde 1972 von Prof. Fanger ein empirisch-soziologischer Komfortindex für die Beurteilung von Behaglichkeit in Räumen eingeführt: Maßgebend für die Beurteilung von Behaglichkeit sind die beiden Größen

- PPD = Predicted Percentage of Dissatisfied (= Prozentsatz zu erwartender Unzufriedener)
- PMV = Predicted Mean Vote (= zu erwartende mittlere Beurteilung)

<u>Predicted Mean Vote (PMV) und Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)</u>
Nach EN ISO 7730:2006 wird das vorausgesagte mittlere Votum (PMV) wie folgt definiert:
Das PMV ist ein Index, der den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe anhand folgender 7-stufiger Klimabeurteilungsskale vorhersagt. Der PMV-Index beruht auf dem Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers. Das thermische Gleichgewicht ist erreicht, wenn die im Körper erzeugte Wärme gleich der an die Umgebung abgegebenen Wärme ist. In einem gemäßigten Umgebungsklima ändert das Thermoregulationssystem des Menschen automatisch die Hauttemperatur und die Schweißabsonderung, um das Wärmegleichgewicht zu erhalten.

Der PPD wird nach EN ISO 7730:2006 wie folgt definiert: Das PMV sagt die durchschnittliche Klimabeurteilung einer großen Gruppe von Personen voraus, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind. Einzelne Urteile streuen jedoch um diesen Mittelwert, und es ist nützlich, die Anzahl der Personen voraussagen zu können, die das Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden.

[4] Thermisches Gleichgewicht ist in diesem Kontext nicht im engeren thermodynamischen sondern im physiologischen Sinne zu verstehen.

Der PPD ist ein Index, der eine quantitative Voraussage des Prozentsatzes der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen darstellt, die es als zu kalt oder zu warm empfinden.

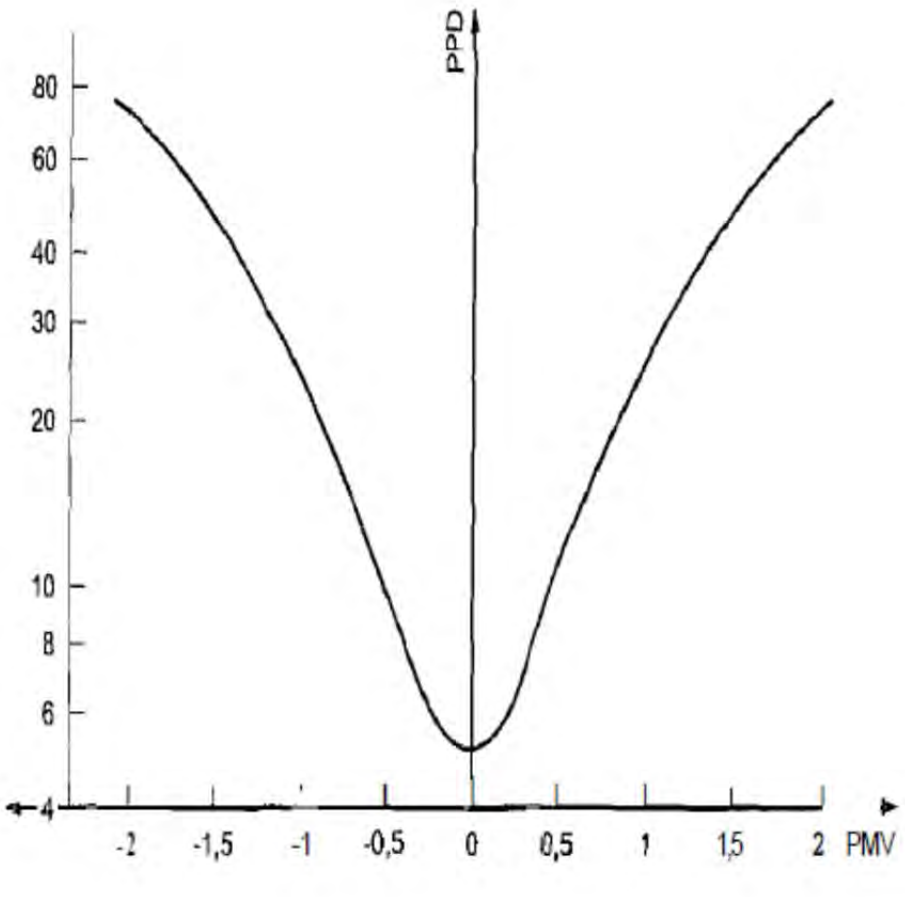


Abbildung 44: PPD als Funktion des PMV [EN ISO 7730:2006]

Das Erwartungsmodell geht davon aus, dass sich thermischer Komfort dann einstellt, wenn das Umgebungsklima den Erwartungen der Nutzer entspricht. Demnach tolerieren wir im Sommer höhere und im Winter niedrigere Raumtemperaturen. Voraussetzung ist, auf das Raumklima Einfluss nehmen zu können. Dieser Einfluss kann z.B. mittels eines öffenbaren Fensters, eines individuell bedienbaren Sonnenschutzes oder eines individuell bedienbaren Thermostatventils an einer Heizfläche vorgenommen werden. Nach der Norm (EN 15251) werden daher Gebäude mit Einfluss des Nutzers und Gebäude und solche ohne Einfluss des Nutzers auf das Raumklima unterschieden.

Es gibt eine Reihe von Einflussfaktoren auf die Behaglichkeit, wobei grundsätzlich zwischen primären Faktoren, zusätzlichen Faktoren und sekundären bzw. vermuteten Faktoren unterschieden wird. Die wesentlichen Raumklimafaktoren können wie folgt zusammengefasst werden:

- Raumlufttemperatur

- Strahlungsasymmetrien durch Temperaturunterschiede der Raumumschließungsflächen
- Raumluftfeuchte
- Luftbewegung

6.1.1.1. Raumlufttemperatur

Die Raumlufttemperatur alleine stellt keine aussagekräftige Größe dar, mit der man ein behagliches Temperaturniveau bestimmen kann. Um dies zu erreichen, muss die Raumlufttemperatur in Zusammenhang mit weiteren Temperaturfaktoren der thermischen Behaglichkeit, als auch in Wechselwirkung mit Größen wie der Raumluftfeuchte und der Luftgeschwindigkeit gesehen werden. Zu den Temperaturfaktoren der thermischen Behaglichkeit gehören die Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen, die Außenlufttemperatur und die Kontakttemperatur. Die behagliche Raumlufttemperatur wird weiters bis zu einem gewissen Grad von der Tätigkeit der sich in dem Raum befindenden Personen abhängig gemacht.

Für Temperaturen gibt es unterschiedliche Definitionen. Nachfolgend sind die Definitionen für verschiedene Begriffe der Temperatur zusammengefasst:

- Raumlufttemperatur: Mit einem strahlungsgeschützten Thermometer gemessene Lufttemperatur
- Mittlere Strahlungstemperatur: Berechnung aus den Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen unter Berücksichtigung der Winkelabhängigkeit zwischen Messpunkt und Flächen
- Empfundene oder operative Temperatur: Näherungsweise Mittelwert aus Raumlufttemperatur und Strahlungstemperatur
- neutrale Temperatur: Jene, subjektiv empfundene Temperatur, bei der weder kühlere noch wärmere Umgebung gewünscht wird

Nach EN ISO 7730 gibt es 3 Kategorien in denen die optimale operative Raumlufttemperatur, die von der Aktivität und der Bekleidung der sich im Raum befindenden Personen abhängig ist, definiert ist sowie ein zulässiger Temperaturbereich als eine Funktion der Bekleidung und der Aktivität. Die optimale operative Temperatur ist für alle drei Kategorien gleich, der zulässige Bereich um die optimale operative Temperatur variiert jedoch. Nach EN ISO 7730 gelten für Bürobereiche für die Kategorien A, B und C folgende operative Temperaturen bzw. Temperaturbereiche (siehe Tabelle 8:)

Tabelle 8: Kategorien optimaler operativer Raumlufttemperaturen nach EN ISO 7730

Kategorie	Operative Temperatur in °C	
	Sommer (Kühlungsperiode)	Winter (Heizperiode)
A -0,2 < PMV < + 0,2	24,5 ± 1,0 K	22,0 ± 1,0 K
B -0,5 < PMV < + 0,5	24,5 ± 1,5 K	22,0 ± 2,0 K
C -0,7 < PMV < + 0,7	24,5 ± 2,5 K	22,0 ± 3,0 K

6.1.1.2. Strahlungsasymmetrien durch Temperaturunterschiede der Raumumschließungsflächen

Die Strahlungsverhältnisse im Raum beeinflussen die Behaglichkeit. Unter Strahlungsasymmetrie versteht man die maximale Temperaturdifferenz, die in einem Raum zwischen zwei sich gegenüberliegenden Flächen auftritt. Die daraus folgende einseitige Erwärmung bzw. Abkühlung des Menschen durch uneinheitliche Temperaturen der Umschließungsflächen kann zu thermischem Unbehagen führen. Wird allein über die Decke geheizt, darf deshalb die Oberflächentemperatur ca. 27°C nicht überschreiten. Im Kühlfall sollte die Temperaturdifferenz der kalten Deckenfläche mit anderen Flächen im Raum nicht größer als 14 K sein (EN ISO 7730). In Abbildung 45 ist der Prozentsatz der Unzufriedenen in Abhängigkeit der Strahlungstemperaturdifferenz dargestellt.

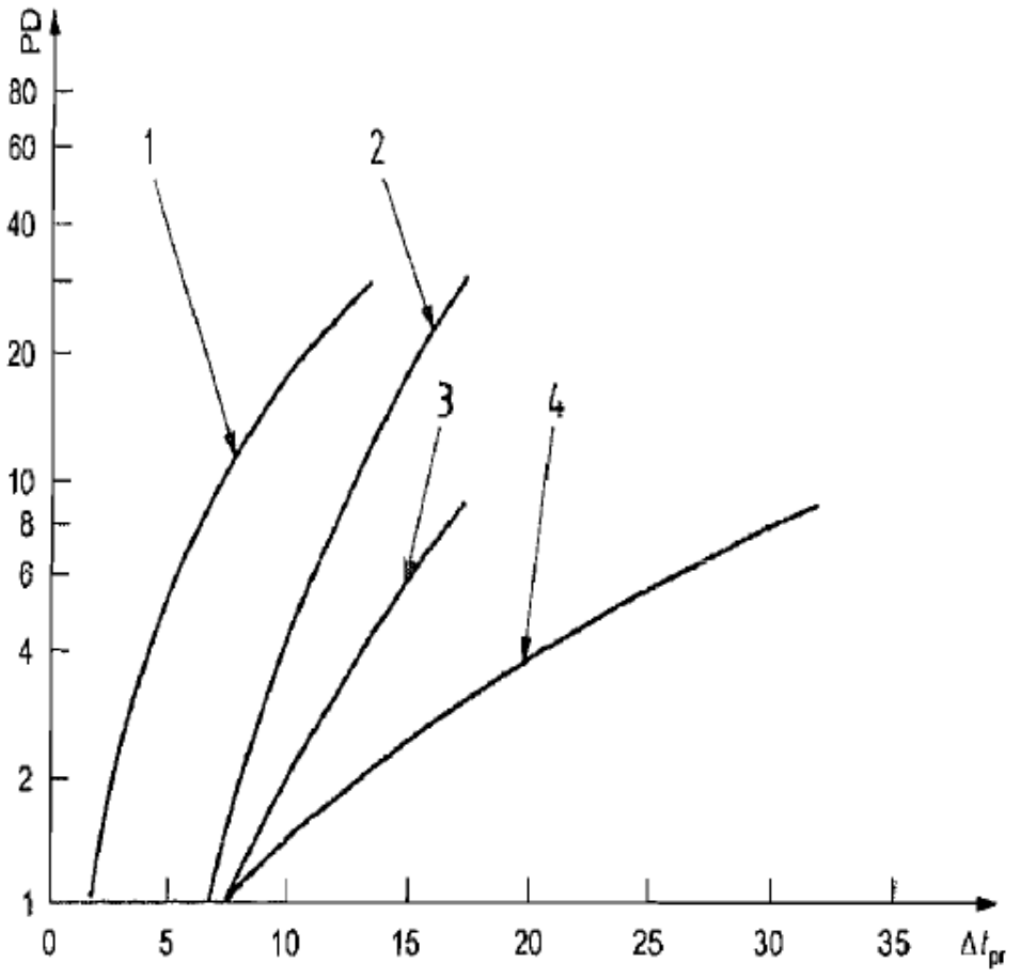


Abbildung 45: Lokale thermische Unbehaglichkeit durch asymmetrische Strahlungstemperatur (Legende: 1 = warme Decke; 2 = kühle Wand; 3 = kühle Decke; 4 = warme Wand) [EN ISO 7730:2006]

6.1.1.3. Raumluftfeuchte

Laut ÖNORM H 6000 T3 gelten folgende Grenzwerte für die relative Feuchtigkeit

- Unterer Grenzwert: 35 % r.F.
- Oberer Grenzwert: 65 % r.F.

Unter einer Luftfeuchtigkeit von 35 % r.F. ist die Raumluft zu trocken und es kommt zu elektrischen Aufladungen und verstärkter Staubbildung, sowie zu einer Belastung und Reizung der Atemwege.
Oberhalb einer Luftfeuchtigkeit von 65 % r.F. wird die Raumluft als zu feucht betrachtet und es kann einerseits zu Bauschäden durch Kondensatbildung und andererseits zu einem „Schwülegefühl[5]“ beim Menschen führen.

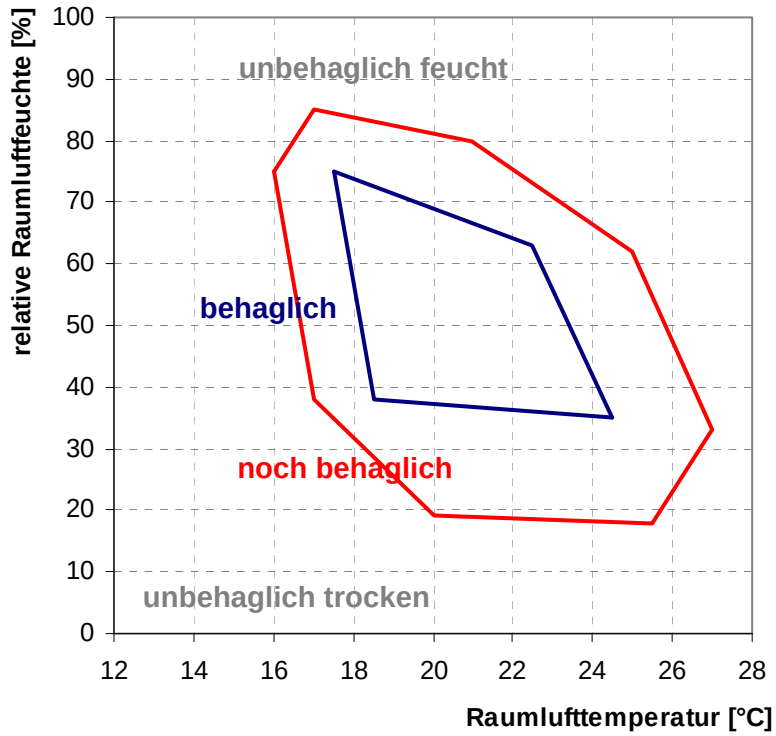


Abbildung 46: Behaglichkeitsfenster relative Feuchte nach ÖNORM H 600 T3

[5] Die Schwülegrenze liegt bei einer absoluten Feuchte von x = 12 g/kg Wassergehalt. Dies entspricht einer Raumlufttemperatur von etwa 24 °C bei 65 % r.F..

6.1.1.4. Luftbewegung

Luftbewegung in Räumen wird umso stärker wahrgenommen, je kälter die Luft ist und je konstanter sie aus einer Richtung kommt. Damit ist sie besonders kritisch bei Klimaanlagen im Sommer. Im Winter können große Fensterflächen und Wohnungslüftungsanlagen ohne Luftvorwärmung Ursachen für Zugerscheinungen sein.

In Abbildung 47 sind die zulässigen Luftgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von Temperatur und Turbulenzgrad der Luft dargestellt. Wobei für die Grenzkurven folgendes gilt:

- Grenzkurve I: Tu < 5 %
- Grenzkurve II: 5 % < Tu< 20 %
- Grenzkurve III: Tu > 20 %

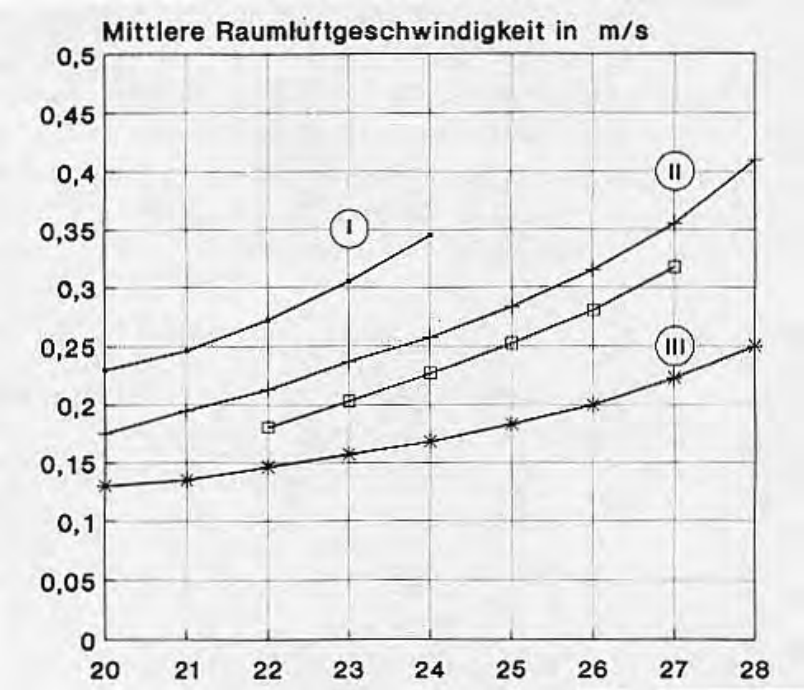


Abbildung 47: zulässige Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur nach EN 13182

Die annehmbare mittlere Luftgeschwindigkeit ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Lufttemperatur
- Turbulenzgrad
- Zugluftrisiko

Tabelle 9: Auslegungswerte für lokale Luftgeschwindigkeiten (Mittelwerte in m/s bei einer Messung über drei Minuten, die nach EN 13182 erfolgt ist)

Lokale Lufttemperatur	Üblicher Bereich	Standardwert (DR = 15%)
20 °C	0,10 bis 0,16	v < 0,13
21 °C	0,10 bis 0,17	v < 0,14
22 °C	0,11 bis 0,18	v < 0,15
24 °C	0,13 bis 0,21	v < 0,17
26 °C	0,15 bis 0,25	v < 0,20

ANMERKUNG: Bei individueller Luftvolumenstromregelung oder zeitlich begrenzter Intensivlüftung sind höhere Werte zulässig

6.1.2. Modellbildung

Zur Berechnung der Raumkonditionen und daraus resultierender Behaglichkeit werden Energiebilanzen gebildet und verkettet, wobei die Berechnung der Bauteile eindimensional erfolgt.

Das Berechnungsmodell ist aus einzelnen Modulen aufgebaut, wobei als Vorlage das Modell der „International Building Physics Toolbox“ von Angela Sasic Kalagasidis bezüglich des Wärmemodells diente. Das Modell lässt sich in vier Modulgruppen unterscheiden:

- Konstruktionen
- Zonen
- Systeme
- Quellen und Wetter

Nachfolgend sind die Randbedingungen, die Raumgeometrie sowie die Berechnung des Wärmestroms durch die einzelnen Schichten dargestellt.

Raumgeometrie / Zonierung

Der Raum wird entsprechend Abbildung 48 in 2 Zonen unterteilt, in eine Raumzone und eine Fassadenzone.

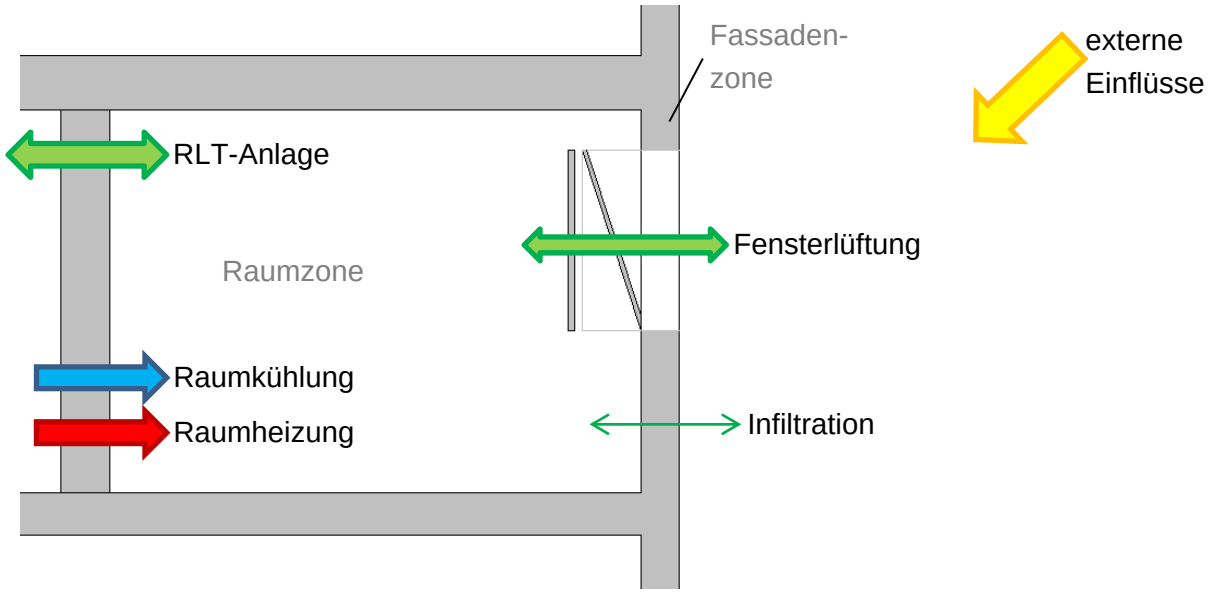


Abbildung 48: Schematische Darstellung Raummodell

Die Fassadenkonstruktion, hauptsächlich die Verteilung opaker Fläche und verglaster Flächen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Behaglichkeit im Raum. Die Abbildung der Fassade lässt sich in folgende 3 drei Varianten unterteilen, wobei die Berechnung des Wärmestroms durch das Bauteil Fassade analog zum Modell für den Wärmestrom von außen berechnet wird und die Beschreibung zur Berechnung in den entsprechenden Unterkapiteln zu finden ist. Bei den folgenden Betrachtungen werden jeweils folgende 3 Fassadentypen untersucht:

1) einschalige Fassade ohne Verschattung: Bei diesem Fassadentyp werden 3 Schichten (Glas Oberfläche außen / Scheibenzwischenraum / Glas Oberfläche innen) abgebildet

2) einschalige Fassade mit innen liegender Verschattung: Bei diesem Fassadentyp werden 5 Schichten (Glas Oberfläche außen / Scheibenzwischenraum / Glas Oberfläche innen / Luftraum zwischen Scheibeninnenseite und Verschattung / Verschattung) abgebildet.

3) einschalige Fassade mit außen liegender Verschattung: Bei diesem Fassadentyp werden ebenfalls 5 Schichten (Verschattung / Luftraum zwischen Verschattung und Glas Oberfläche außen / Glas Oberfläche außen / Scheibenzwischenraum / Glas Oberfläche innen) abgebildet.

Das mathematische Modell zu diesen Berechnungen befindet sich im Anhang.

6.1.3. Behaglichkeit in Abhängigkeit der Fassade und der Raumposition

Ziel dieses Abschnittes ist es, die Behaglichkeit, beschrieben durch den PMV-Index, in Abhängigkeit der Fassadenkonstruktionen und der Arbeitsplatzposition im Raum darzustellen. Hierzu wird eine drei-Zonen Berechnungsmodell, das zwei durch einen Gang verbundene Büroräume, mit je 4 Arbeitsplätzen, darstellt, im Programm BuildOpt_VIE aufgebaut.
Die Variation der Fassadenkonstruktion erfolgt durch Anpassung der Dämmstärke und durch Adaptierung der Fensterkonstruktionen. Da die Praxis gegen eine Kombination aller Fenster und Fassadenkonstruktionen spricht werden drei Grundvarianten verglichen, welche sich durch stetige Verbesserung der gesamten thermischen Außenhülle auszeichnen. Diese drei Varianten werden anschließend je einmal mit außenliegender und innenliegender Verschattung jeweils für alle Fenster simuliert. Beheizt bzw. gekühlt werden die Aufenthalts- und Nebenräume durch Konditionierung der Zuluft durch die Lüftungsanlage und mittels einer betonkerntemperierten Decke.

6.1.3.1. Geometrie

Die beiden Büroräume besitzen jeweils 16m² Nettogrundfläche und sind durch einen Gang mit 12m² Nettogrundfläche verbunden. Die Raumhöhe beträgt im gesamten Modell 3,75m. Die Fensterflächen mit insgesamt 21,6m² sind nach Norden, Osten und Süden ausgerichtet.
Die Anordnung der Arbeitsplätze und somit die Position für die Beurteilung der Behaglichkeit nach dem PMV-Index erfolgt nach Einschätzung der am kritischsten zu bewertenden Raumlage, dargestellt in Abbildung 49.

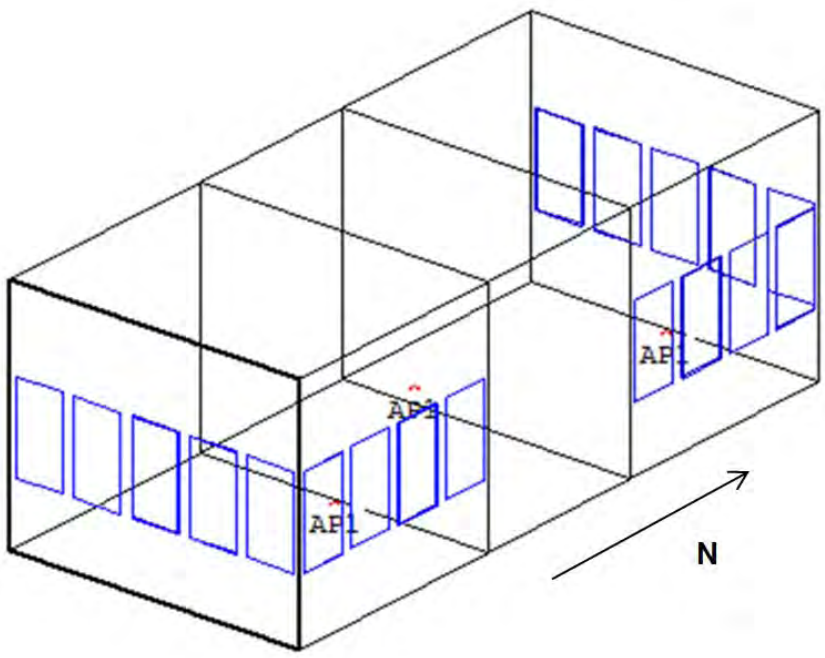


Abbildung 49: Darstellung der Geometrie des Berechnungsmodells in Buildopt_VIE

6.1.3.2. Beschreibung der Bauteile

Geschoßdecken

Die beiden Geschoßdecken bestehen aus einer Stahlbetonkonstruktion mit Trittschalldämmplätte, Zementestirch und einem Parkettboden, wobei diese im Zuge der Berechnungsdurchläufe nicht variiert werden.

Tabelle 10: Schichtaufbau und Materialdaten der Geschoßdecke (von unten nach oben)

	Dicke in cm	Dichte in kg/m³	λ in W/(m·K)	spez.Wkp. In J/(kg·K)
Stahlbeton	20	2300	1.8	1000
Trittschalldämmung	3	150	0.04	1030
Zementestrich	5	1800	1.11	1080
Parkett	2	600	0.15	2500

Außenwand

Die Außenwand besteht aus einer tragenden Stahlbetonkonstruktion mit Wärmedämmverbundsystem, bestehend aus EPS-F und einer Putzschichte. Die Stärke der EPS-F Platte wird im Zuge Verbesserung der Außenhülle variiert.

Tabelle 11: Schichtaufbau und Materialdaten der Außenwand (von innen nach außen)

	Dicke in cm	Dichte in kg/m³	λ in W/(m·K)	spez.Wkp. In J/(kg·K)
Stahlbeton	20	2300	1.8	1000
EPS-F	5;10;20	17	0.04	1450
Putz	0.01	1500	0.8	1000

Fenster

Um eine konsistente Verbesserung der thermischen Außenhülle der unterschiedlichen Varianten zu schaffen werden drei verschiedene Fensterkonstruktionen verwendet, welche sich durch die Anzahl der Scheiben und dem daraus resultierenden veränderten Berechnungsparametern unterscheiden. Die Beeinflussung der Scheibenanzahl auf den Gesamtenergiedurchlassgrad, U-Wert etc. ist in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Fenstervarianten deren Berechnungsparameter

	Uf-Wert in W/(m²·K)	Ug-Wert in W/(m²·K)	g-Wert	psi in W/(m·K)
Fenstertyp 1	3.00	2.93	0.70	0.06
Fenstertyp 2	1.90	1.89	0.64	0.05
Fenstertyp 3	1.10	0.60	0.53	0.04

6.1.3.3. Haustechnikanlage

Allgemein

Die Grenztemperatur für den Kühlfall liegt bei max. 24,5°C und für den Heizfall bei min. 22,0°C.

Lüftungsanlage

Das Anlagenschema der innerhalb des Gebäudemodells simulierten Anlage ist in Abbildung 50 dargestellt. Die Lüftungsanlage ist Präsenz geregelt und liefert bei Anwesenheit eines Nutzers den vollen Volumenstrom von 210m³/h (105 m³/h je Büroraum). Bei Nicht Anwesenheit findet ein Luftwechsel mit einer Luftwechselrate von $n=0.30h^{-1}$ statt.

Die angegeben Daten gelten für die beiden Büroräume, wobei der Verbindungsgang unkonditioniert verleibt und kein Luftaustausch zwischen den Zonen stattfindet.

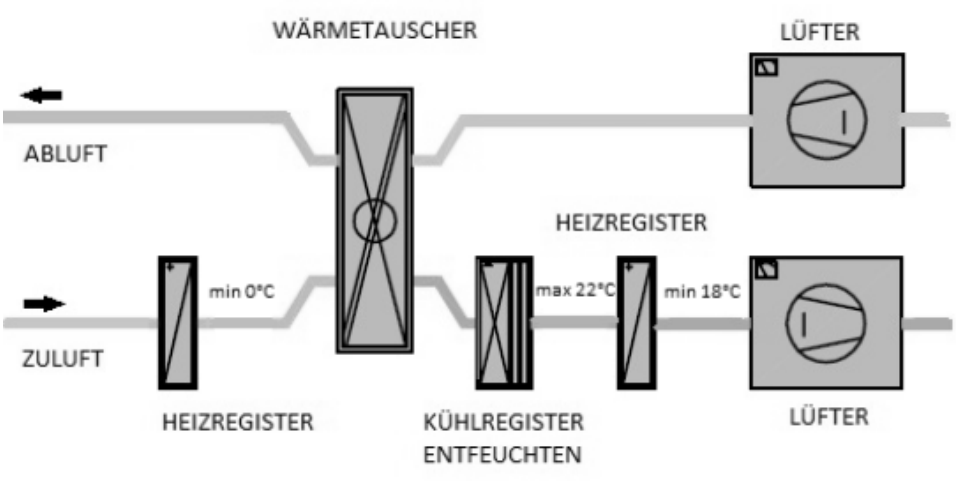


Abbildung 50: Darstellung des zugrundeliegenden Anlagenschemas

Bauteilaktivierung

Die bauteilaktivierte Zwischendecke dient sowohl als Flächenheiz- als auch als Flächenkühlelement. Das System für die Temperierung der Zwischendecke ist in Betonkernmitte angeordnet und wird mittels Steuerung des Massenstroms, bei 25°C im Heizfall beziehungsweise 19°C Vorlauftemperatur im Kühlfall, geregelt.

6.1.3.4. Lage der Arbeitsplätze

Die Beurteilung der Behaglichkeit am Arbeitsplatz nach dem PMV-Index bewertet neben der Raumlufttemperatur auch Strahlungsasymmetrie und Strahlungstemperatur. Aus diesem Grund ist die Positionierung des zu begutachteten Arbeitsplatzes im Raum wesentlich. Für den Heiz-, aber insbesondere für den Kühlfall ist, aufgrund von solarer Einstrahlung durch nicht opake Bauteile, eine Positionierung in der Nähe der Fenster als kritisch anzusehen. Für die beiden Büroräume wird der Punkt in Raummitte 1m hinter der Ostfassade gewählt.

6.1.3.5. Randbedingungen

Klimarandbedingungen

Als Außenklima wird das Testreferenzjahr für Wien Innere Stadt herangezogen, wobei das erste Jahr dem im Jahre 2007 auf den Asperngründen in Wien gemessenen Klima entspricht. Dieses Klima besitzt eine besonders ausgeprägte Hitzeperiode und wird vorrangig für die Bewertung der Behaglichkeit im Kühlfall herangezogen.
An den Innenwänden und Zwischendecken wird eine adiabatische Randbedingung angelegt.

Innere Lasten

Neben der Wärmeabgabe durch Personen, entsprechend ihrer Aktivität, geben elektrische Geräte und Beleuchtung einen Teil ihrer elektrisch zugeführten Energie als Wärme an ihre Umgebung ab. Für Personen wird in BuildOpt_VIE mit Hilfe eines Zufallsgenerators je nach Anwesenheitswahrscheinlichkeit bestimmt wie viele der zur Verfügung stehenden Arbeitsplätze zwischen 8 Uhr bis 17 Uhr besetzt sind. Für den vorliegenden Fall wurde eine Anwesenheitswahrscheinlichkeit von 100% festgelegt. Der Energieeintrag durch eine anwesende Person beträgt in der Simulation 80Wh/h. Die inneren Energiegewinne durch Geräte, z.B. PCs, werden pauschal mit 150Wh/h pro besetztem Arbeitsplatz angesetzt. Im Falle eines unbesetzten Arbeitsplatzes wird ein Standby-Energieeintrag von 5Wh/h angenommen. Die Grundlast der inneren Energieeinträge in den Raum, hervorgerufen z.B. durch Radios, beträgt 10Wh/h.

6.1.3.6. Konversionsfaktoren

Folgende Konversionsfaktoren für die Ermittlung des Primärenergiebedarfs werden verwendet:

- Strom: 2,62
- Wärme: 1,3

6.1.3.7. Variantenbeschreibung

Die in 6.1.3.2 beschriebenen Parameter werden zu in Tabelle 13 dargestellten Kombinationen zu Berechnungsvarianten zusammengesetzt.

Tabelle 13: Variantenbeschreibung

Variantenname	Fenstertyp	Dämmstarke in cm	Lage der Verschattung	Abminderungsfaktor Fc
05_30i	Typ1	5	innenliegend	0.8
10_19i	Typ2	10	innenliegend	0.8
20_08i	Typ3	20	innenliegend	0.8
05_30e	Typ1	5	außenliegend	0.15
10_19e	Typ2	10	außenliegend	0.15
20_08e	Typ3	20	außenliegend	0.15

6.1.3.8. Ergebnisse

Abbildung 51 zeigt den Vergleich der Berechnungsvarianten hinsichtlich des bruttogeschoßflächenbezogenen Primärenergiebedarfs. Die für die Berechnung des Primärenergiebedarfs benötigte Jahresarbeitszahl der Kältekompressionsmaschine beträgt 3.

Deutlich ist die Beeinflussung der Qualität der thermischen Außenhülle zu erkennen. Mit steigender Dämmstärke und kleinerem U-Wert der Fenster sinkt der primäre Energiebedarf für Raumheizung, Raumkühlung und Luftbeförderung drastisch. Ebenso liefert die außenliegenden Verschattung eine Senkung des Primärenergiebedarfs von 30 bis 50 %.

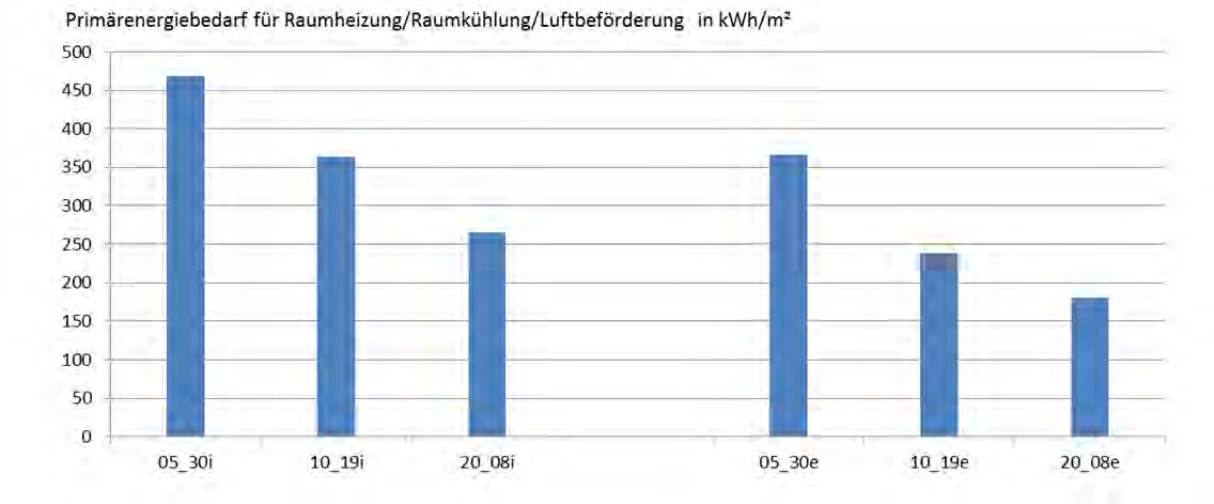


Abbildung 51: Primärenergiebedarf bezogen auf m²(BGF) für Raumheizung/Raumkühlung/Luftbeförderung in kWh/m²

Der Vergleich der kumulierten Bewertung der Klimasituation fällt betreffend einer als „zu warm“ beurteilten Klimasituation deutlich aus. Mit außenliegender Verschattung ist die Bewertung der Behaglichkeit im Kühlfall an den ausgewerteten Arbeitsplätzen durchgehend neutral. Der Einfluss der Verschattung ist im Heizfall erwartungsgemäß gering.

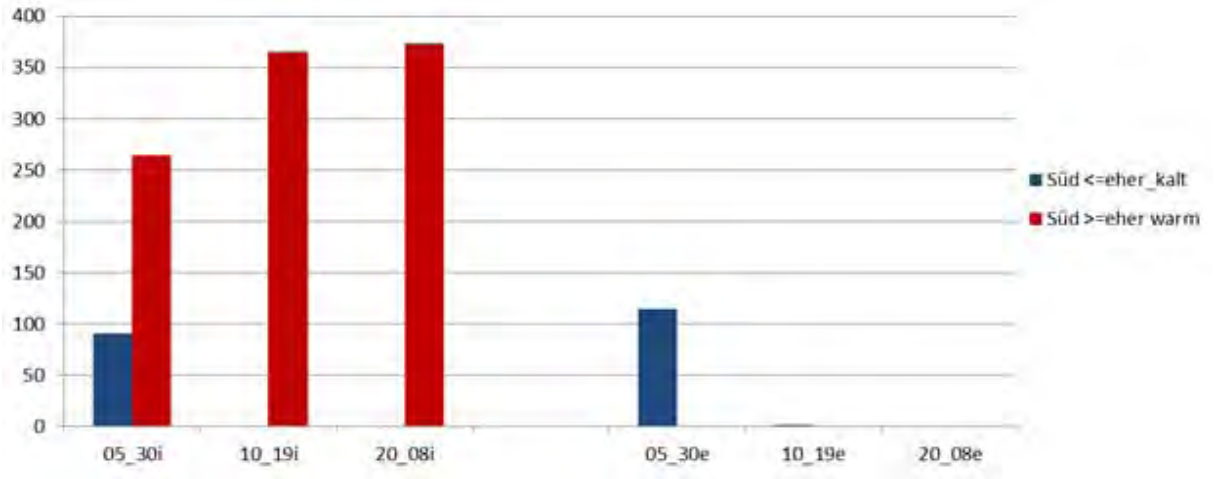


Abbildung 52: Kumulierte Bewertung für PMV<-0.25 bzw. PMV>0.25

Die wegen des Blendschutzes auch in der Heizperiode aktivierte Verschattung verringert die solare Einstrahlung im Winter. Hinsichtlich dieser Beeinträchtigung wirkt sich eine innenliegende Verschattung positiv aus. Der Einfluss des Verschattungstyps auf die Behaglichkeit nimmt mit nördlicher Orientierung ab. Dieser Effekt hat entsprechend Abbildung 52 und Abbildung 53 geringere Auswirkungen bei größeren Dämmstärken.

Aufgrund von längeren Auskühlphasen, bewirkt durch höhere Dämmstärken, verschlechtert sich die durch den PMV beurteilte Klimasituation am Arbeitsplatz. Wie Abbildung 52 und Abbildung 53 zeigt kann dieser Effekt durch die Anbringung von außenliegenden Verschattungselementen kompensiert werden.

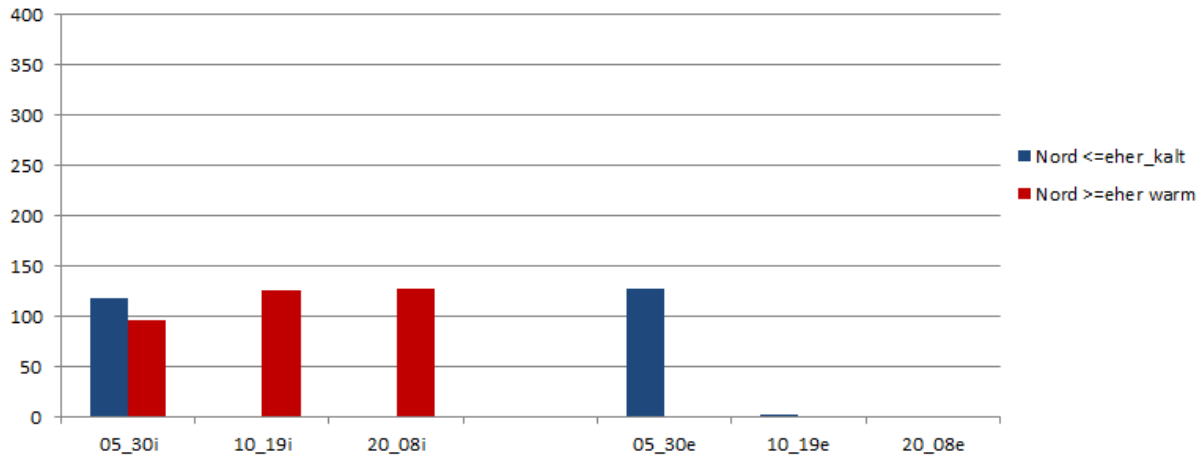


Abbildung 53: Kumulierte Bewertung für PMV<-0.25 bzw. PMV>0.25

Insgesamt zeigt der Vergleich zwischen nördlicher und südlicher Arbeitsplatzsituierung den Einfluss der solaren Einstrahlung auf den Nutzer. Im Heizfall ist dieser als positiv werten, wohin gegen der Einfluss dieser im Kühlfall deutlich negativ auffällt.

Fazit

Grundsätzlich sind höhere Dämmstärken hinsichtlich des Primärenergiebedarfs als positiv zu bewerten. Ebenso positiv wirkt sich ein niedriger U-Wert der Fassadenelemente auf die Behaglichkeit im Heizbetrieb aus. Die Beeinflussung der Behaglichkeit durch eine Verbesserung der thermischen Hülle fällt zwar negativ im Kühlbetrieb auf, ist aber durch Anbringung einer außenliegenden Verschattung weitestgehend kompensierbar.

6.1.4. Kühlbedarf eines Büros

In diesem Kapitel wird der Kühlbedarf für die in 6.1.3 berechneten Räume ermittelt. Um praxisnahe Ergebnisse zu erlangen, wurde die relative Anwesenheit auf 70 % herabgesetzt. Weiters wird unterschieden, ob effiziente Geräte zum Einsatz kommen bzw. ob außenliegender oder innenliegender Sonnenschutz verwendet wird. Die Berechnungen beschränken sich auf die optimale Variante 20_08. D.h. 20 cm Dämmstärke und ein U-Wert der Fenster von 0,8 W/(m².K).

Der Einsatz effizienter Geräte bedeutet statt 150 W pro Arbeitsplatz nur 50 W bei Anwesenheit und eine optimierte Beleuchtung mit einer installierten elektrischen Leistung von 5 W/m².NGF.
Varianten:

Tabelle 14: Variantenbeschreibung

Variantenname	Fenster-typ	Dämmstärke in cm	Lage der Verschattung	Abminderungsfaktor Fc	Ausstattung
20_08i_INEFF_07ANW	Typ3	20	innenliegend	0.8	Ineffizient
20_08i_EFF_07ANW	Typ3	20	innenliegend	0.8	Effizient
20_08e_INEFF_07ANW	Typ3	20	außenliegend	0.15	Ineffizient
20_08e_EFF_07ANW	Typ3	20	außenliegend	0.15	Effizient

In Abbildung 54 ist der spezifische Kühlbedarf des Bürogebäudes für die verschiedenen Varianten dargestellt:

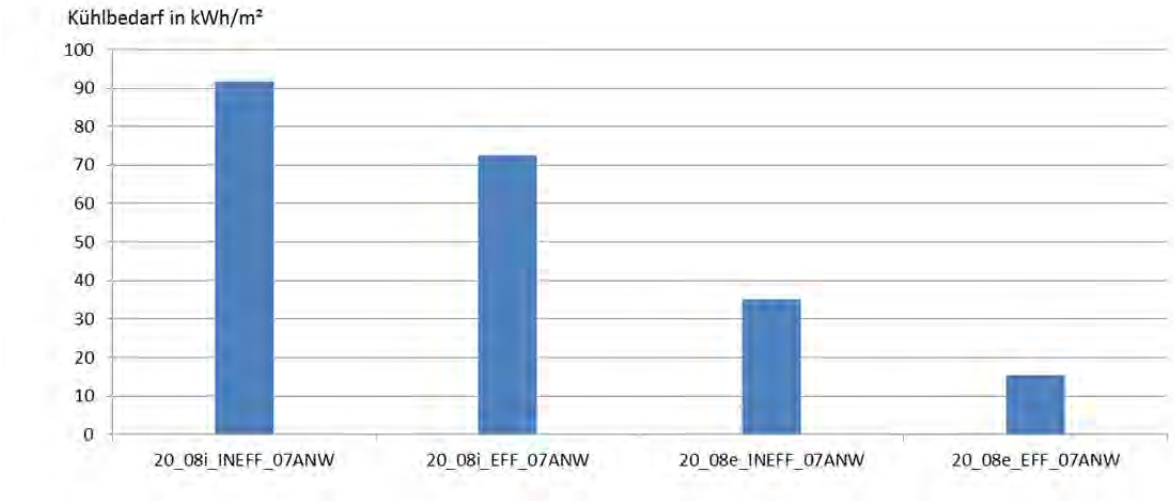


Abbildung 54: Jährlicher Kühlbedarf in kWh/m².BGF

Die Variante mit effizienten Geräten und außenliegendem Sonnenschutz liefert den geringsten Kühlbedarf mit circa 15 kWh/m².BGF.a. Dagegen steigt der Kühlbedarf der ersten Variante auf über 90 kWh/m².BGF.a an. D.h. 6-Mal so hoch als bei der vorherigen Variante.

Fazit:
Nur bei Verwendung effizienter Geräte und außenliegendem Sonnenschutz kann der Kühlbedarf auf ein passables Niveau verringert werden.

6.2. Bauteilintegrierte Photovoltaik und Solarthermie

Handelsübliche, gebäudeintegrierte Photovoltaik-Module werden in Kapitel 6.6.4 ausführlich beschrieben. Aus bauphysikalischer Sicht ist eine gebäudeintegrierte Photovoltaikanlage nicht so kritisch wie eine Solarthermie-Anlage zu sehen; die folgenden Ausführungen zu Solarthermie gelten daher - in abgeschwächter Weise – auch für Photovoltaik. Vorarbeit zu diesem Thema wurde unter anderem von Bergmann et al. (2002) geleistet.

6.2.1. Beschreibung typischer flacher thermischer Sonnenkollektoren

Flache thermische Sonnenkollektoren bestehen im Wesentlichen aus einer Glasscheibe, einem Luftraum, einem Absorber, der von einem Wärmeträger durchströmt wird, Wärmedämmung und einer Kollektorrückwand. Der Absorber besteht meist aus beschichtetem Aluminium oder Kupfer. Der Wärmeträger, der den Absorber in Rohren durchströmt, kann Wasser oder ein weniger frostgefährdetes Medium sein. Durch die Glasscheibe eingedrungene (kurzwellige) Strahlung wird vom Absorber absorbiert und an den Wärmeträger abgegeben. Der vom Absorber abgegebene, langwellige Strahlungsanteil wird von der Glasscheibe zum größten Teil entweder wiederum reflektiert oder absorbiert. Jedenfalls trägt die vom Absorber reflektierte Strahlung dazu bei, die Luft zwischen Glas und Absorber zu erwärmen. Hinter dem Absorber ist im Regelfall eine Dämmung angeordnet, um einen Wärmeverlust des Absorbers durch Wärmeleitung an die Kollektorrückwand zu vermeiden. Die Kollektorrückwand hat die Aufgabe, die entstehenden Lasten aus Eigengewicht und Nutzlasten abzuleiten und besteht je nach Anwendung aus Holzwerkstoffen oder Metall.

Aus bauphysikalischer Sicht ist der Wasserdampf-Diffusionsdurchgang durch einen Flachkollektor zu beachten. Wenn nicht bereits die Kollektorrückwand, so sind zumindest der Absorber und/oder die äußere Glasscheibe hoch diffusionshemmend. Die Kollektorrückwand besteht im günstigsten Fall aus einer OSB-Platte. Der Absorber selbst besteht oft aus Aluminium-Streifen, die in der Mitte ein Kupferrohr haben, das vom Wärmeträger durchflossen wird. Zwischen diesen Absorber-Streifen ist ein kleiner Abstand, der Diffusion zumindest in der dritten Dimension bis zu einem gewissen Grad erlaubt. Die diffusionsdichteste Schicht ist die Glasscheibe, die den Kollektor nach außen abschließt. Der Luftraum zwischen Absorber und Glasscheibe ist häufig durch kleine Luftschlitze an der Kollektorunterseite mit der Außenumgebung verbunden. Diese Luftschlitze dienen zum Ablaufen von flüssigem Kondensat und stelleneinen Druckausgleich zwischen Luftraum und Außenumgebung her. Kondensat an der Innenseite der Glasabdeckung sollte im Betrieb aber jedenfalls vermieden werden, da das den Kollektorwirkungsgrad negativ beeinflusst. Der Luftraum zwischen Absorber und Glasscheibe ist in der Standardanwendung gerade so stark belüftet, dass sich möglichst wenig Kondensat an der Innenseite der Glasscheibe bildet, dass aber auch so wenig Wärme wie möglich aus dem Luftraum durch Konvektion verloren geht.

Die seitliche Begrenzung eines Flachkollektors besteht in Abhängigkeit der Verlegeart wiederum entweder aus einer Holzwerkstoffplatte/Holzstaffel oder Metall mit oder ohne Wärmedämmung.

6.2.2. Strategien zur Gebäudeintegration von Photovoltaik und Solarthermie

Bei Entwurf und Planung von gebäudeintegrierter Photovoltaik und solarthermischen Anlagen spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. An erster Stelle wird bei allen Überlegungen der Gebäudestandort mit den jeweiligen lokalen Gegebenheiten stehen. Topografische und lokalklimatische Begebenheiten haben einen wesentlichen Einfluss auf die Eignung des Standortes zur Sonnenenergienutzung. Auch Verschattungsfreiheit und die Ausrichtung zur Sonne stellen bei der Planung wesentliche Faktoren dar. Bei einem Gebäude in dichter städtischer Bebauung wird sich etwa die Gebäudeintegration schwieriger gestalten als bei frei stehenden Bauwerken auf großen Grundstücken. Dabei bieten sich jeweils unterschiedliche technische und gestalterische Lösungen an.

Grundsätzlich bestehen sowohl bei der Photovoltaik als auch bei der Solarthermie verschiedene Möglichkeiten zur konstruktiven Einbindung in das Gebäude. Die Module oder Kollektoren können der bestehenden und voll funktionsfähigen Gebäudehülle vorgesetzt werden, oder einzelne Elemente ersetzen teilweise Funktionen der Gebäudehülle. Eine vollständige Integration erfolgt dann, wenn PV-Module oder Solarkollektoren ganze Fassaden- oder Dachelemente ersetzen und sämtliche Funktionen wie Belichtung, Wetter-, Wärme-, Sonnen- und Schallschutz übernehmen.

Aus gestalterischer Sicht lassen sich verschiedene Entwurfsstrategien unterscheiden. So kann die eingesetzte Solartechnik das Erscheinungsbild des Gebäudes durch Farbe, Form, Größe und Anordnung der Elemente dominieren, sich als gestalterisches Element in einen Gesamtentwurf einordnen oder durch ihre Gestaltung und die Lage zum Betrachter in den Hintergrund treten. Auch ein simples Besetzen des Gebäudes oder das Imitieren traditioneller Bauteile (etwa in Form von PV-Dachpfannen) ist möglich, diese Strategien führen jedoch eher selten zu architektonisch und ästhetisch überzeugenden Lösungen.

6.2.3. Arten von Dampfbremsen

Die ÖNORM B 4119 (2010) definiert eine Dampfbremse als „Schichte oder Lage, die den Wasserdampf-Durchgang in der Konstruktion begrenzt“.
Es gibt Dampfbremsen mit konstantem sd-Wert und welche solche mit variablem sd-Wert. Feuchteadaptive Dampfbremsen (FADAB) weisen hohe sd-Werte bei geringer Luftfeuchtigkeit auf. Herrschen im Mittel hohe Luftfeuchtigkeiten an der Dampfbremse, so weisen FADAB’s einen niedrigen sd-Wert auf.
Dampfbremsen können auch die Funktion der luftdichten Schichte erfüllen. Die Luft- bzw. Winddichtheit der Gebäudehülle ist nach OIB Richtlinie 6 (2011) nachzuweisen.

6.2.4. Hinterlüftete Fassade und Fassade mit Solarkollektor im Vergleich

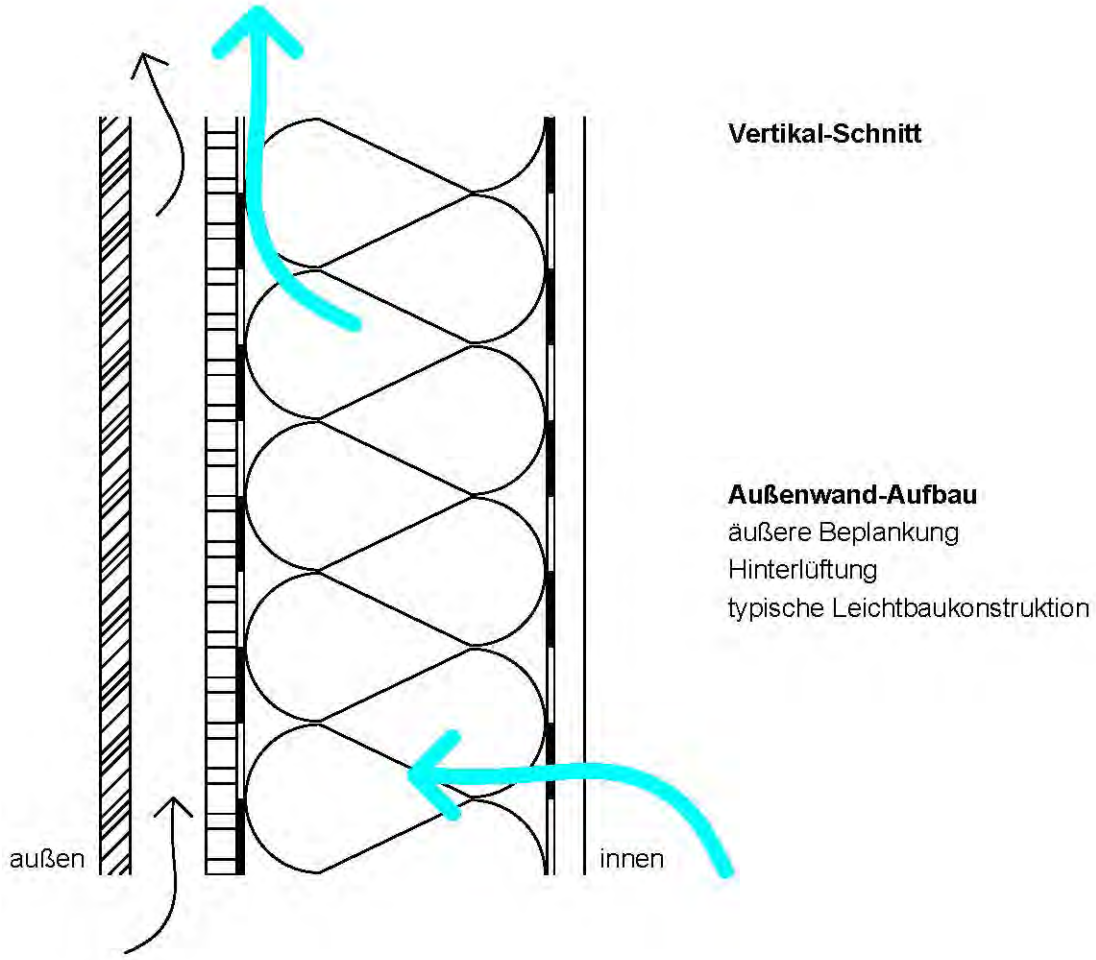


Abbildung 55: schematische Darstellung des konvektiven Wärme-und Feuchtetransportes (blaue Pfeile) in einer typischen Leichtbaukonstruktion (Außenwand) mit hinterlüfteter Fassade

Im typischen Holzbau (Abbildung 55) gibt es Wasserdampfdiffusion vom Innenraum durch die Konstruktion in die Hinterlüftung, wo die Feuchtigkeit durch Luftzirkulation in der Hinterlüftungsebene abtransportiert wird. Auch konvektiv in die Konstruktion eingedrungene Feuchtigkeit (durch unsachgemäße Planung und/oder Ausführung der inneren luftdichten Schicht) hat die Möglichkeit nach innen und nach außen (in die Hinterlüftungsebene) auszudiffundieren. Zusätzlich kann das Austrocknen nach innen infolge von sommerlicher „Diffusionsumkehr“ durch den richtigen Einsatz einer FADAB gefördert werden (Nusser 2011).

Anders ist die Situation, wenn auf eine Holzbaukonstruktion außen statt der Hinterlüftung und der äußeren Vorsatzschale ein Solarkollektor (nicht-hinterlüftet) befestigt wird (Abbildung 56). Durch Diffusion und/oder Konvektion eingedrungene Feuchtigkeit kann nach außen nicht ausdiffundieren. Ein Abtransport der Feuchtigkeit ist nur durch Diffusion zum

Innenraum hin möglich. Entlastend für die Feuchtesituation in der Konstruktion ist dagegen die hohe Temperatur an der Außenseite des Gefaches.

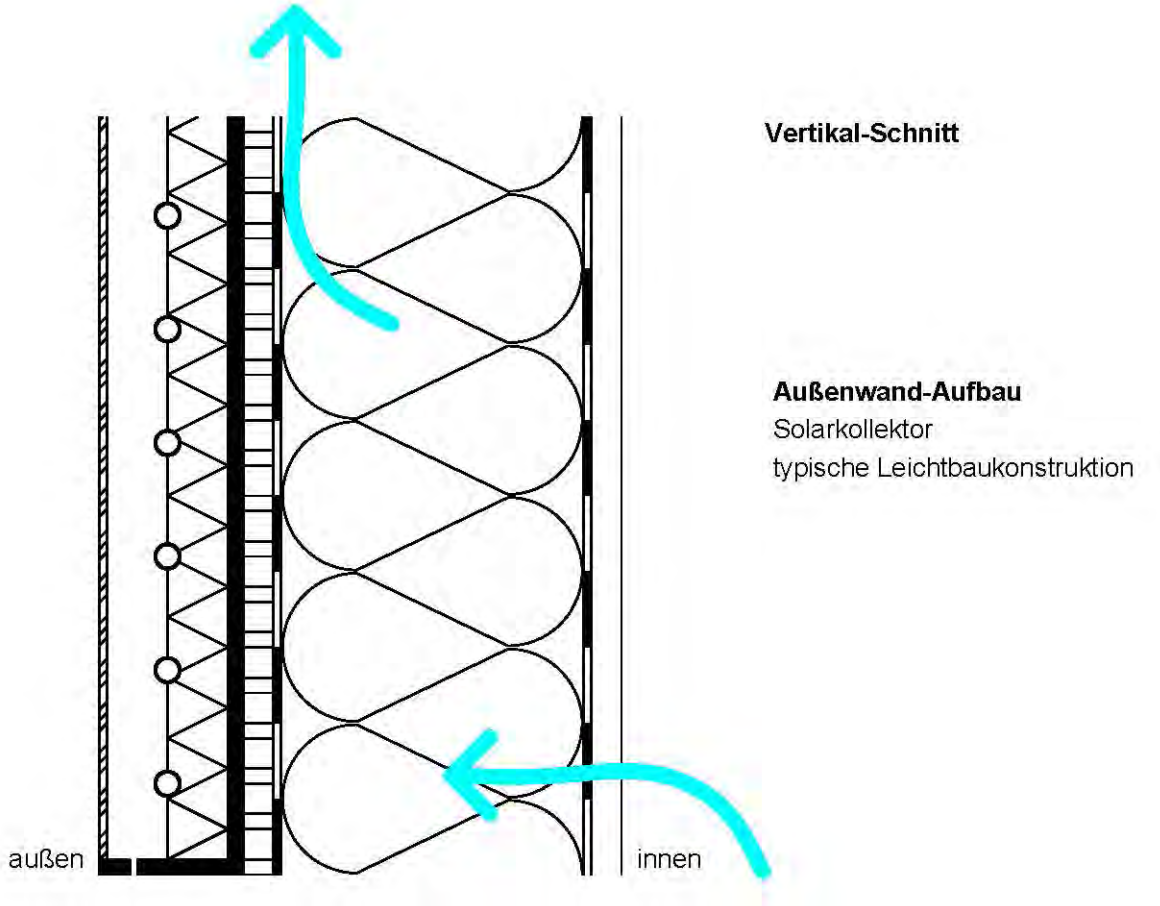


Abbildung 56: schematische Darstellung des konvektiven Wärme-und Feuchtetransportes (blaue Pfeile) in einer Leichtbaukonstruktion (Außenwand) mit einem nicht hinterlüfteten Solarkollektor

Das physikalische Modell für den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport befindet sich im Anhang.

6.2.5. Beispiel

Die Reflexions-, Absorptions- und Transmissionsgrade der Kollektorabdeckung sind von der Bauart des Kollektors abhängig. Im folgenden Beispiel wurden typische Werte angenommen.

Zur Analyse der Hygrothermischen Zustände in einer Holzbaukonstruktion mit einem integrierten Solarkollektor wurde eine dynamische Simulation der hygrothermischen Zustände entsprechend der in den vorigen Kapiteln dargestellten Theorie durchgeführt.

Ausgangspunkt ist eine einfache, doppelschalige Konstruktion mit einer diffusionsoffenen Unterspannbahn an der Außenseite, einer OSB Platte als Aussteifung, einer 25cm dicken

Wärmedämmung aus Mineralwolle im Gefach, einer inneren feuchteadaptiven Dampfbremse und einer Gipskartonplatte.
Als Außenklima für die Berechnung wird ein um 2 Kelvin reduziertes Klima von Klagenfurt verwendet, um den Auslegungsfall für Konstruktionen mit einer Kondensation an der Außenseite abzubilden. An der Innenseite wird das Auslegungsklima für Wohnungsnutzung verwendet mit einer operativen Außentemperatur von 22°C im Winter und 26°C im Sommer. Die relative Luftfeuchte im Winter beträgt 50%, im Sommer 65%.

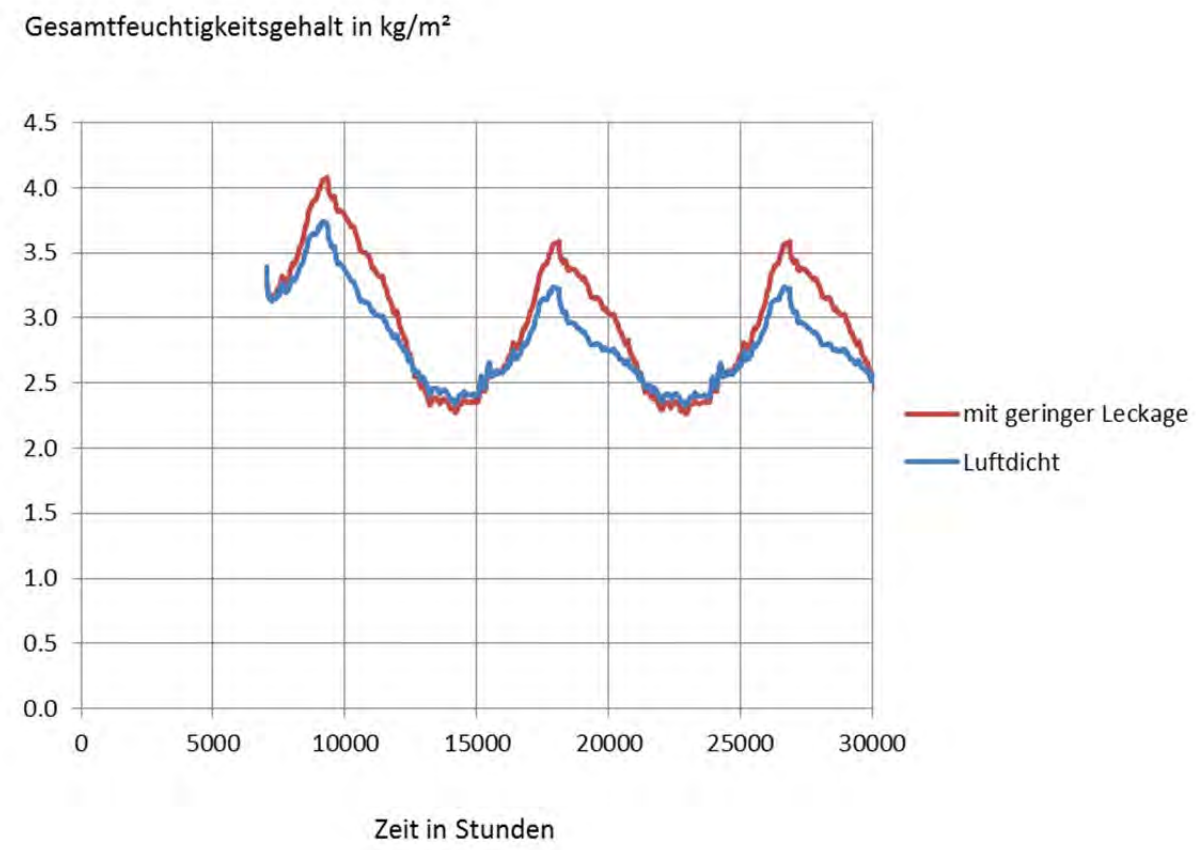


Abbildung 57: Gesamtfeuchtegehalt der Grundkonstruktion mit und ohne Leckage an der Innenseite

Wie in der vorigen Abbildung erkennbar, ist die Grundkonstruktion als fehlertolerant einzustufen. Selbst eine Leckage führt nicht zu einer Akkumulation der eindiffundierenden/-strömenden Feuchtemengen. Durch die Applikation eines Sonnenkollektors ohne Hinterlüftung wird eine dampfdichte Außenseite geschaffen. Die Auswirkung auf den sich einstellenden Feuchtegehalt ist in der folgenden Abbildung zusammengestellt. Ohne solare Einstrahlung wurde sich in diesem Fall ein jährlicher Zuwachs an Feuchtigkeit in der Konstruktion einstellen. Durch die solare Einstrahlung wird die Außenoberfläche aber so warm, dass eine verstärkte Trocknung nach innen stattfinden kann.

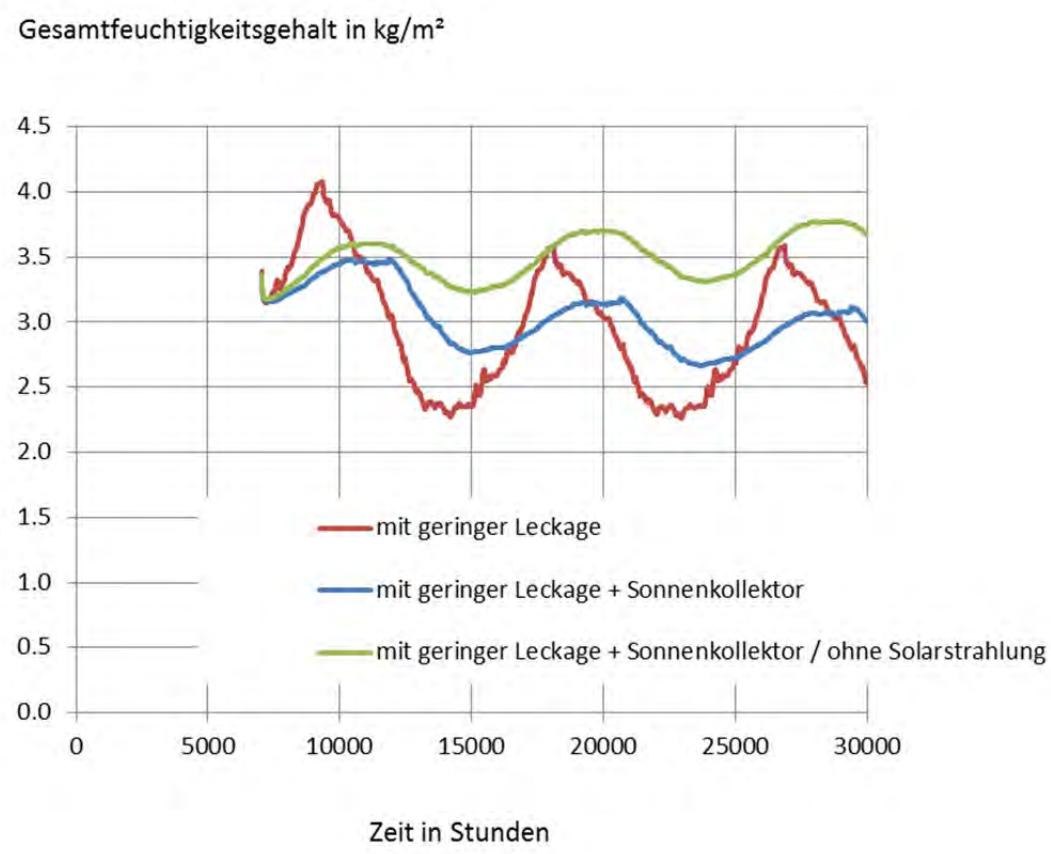


Abbildung 58: Gesamtfeuchtegehalt der Grundkonstruktion mit Leckage und einem typischen Sonnenkollektor an der Außenseite. Die Berechnungen mit Sonnenkollektor wurden einmal mit und einmal ohne solare Einstrahlung durchgeführt.

Die erhöhte Trocknung nach innen führt dabei im Sommer zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte an der Innenseite der Dämmung. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt ist, die Luftfeuchte dabei sehr zeitabhängig und erreicht Werte über 80%.

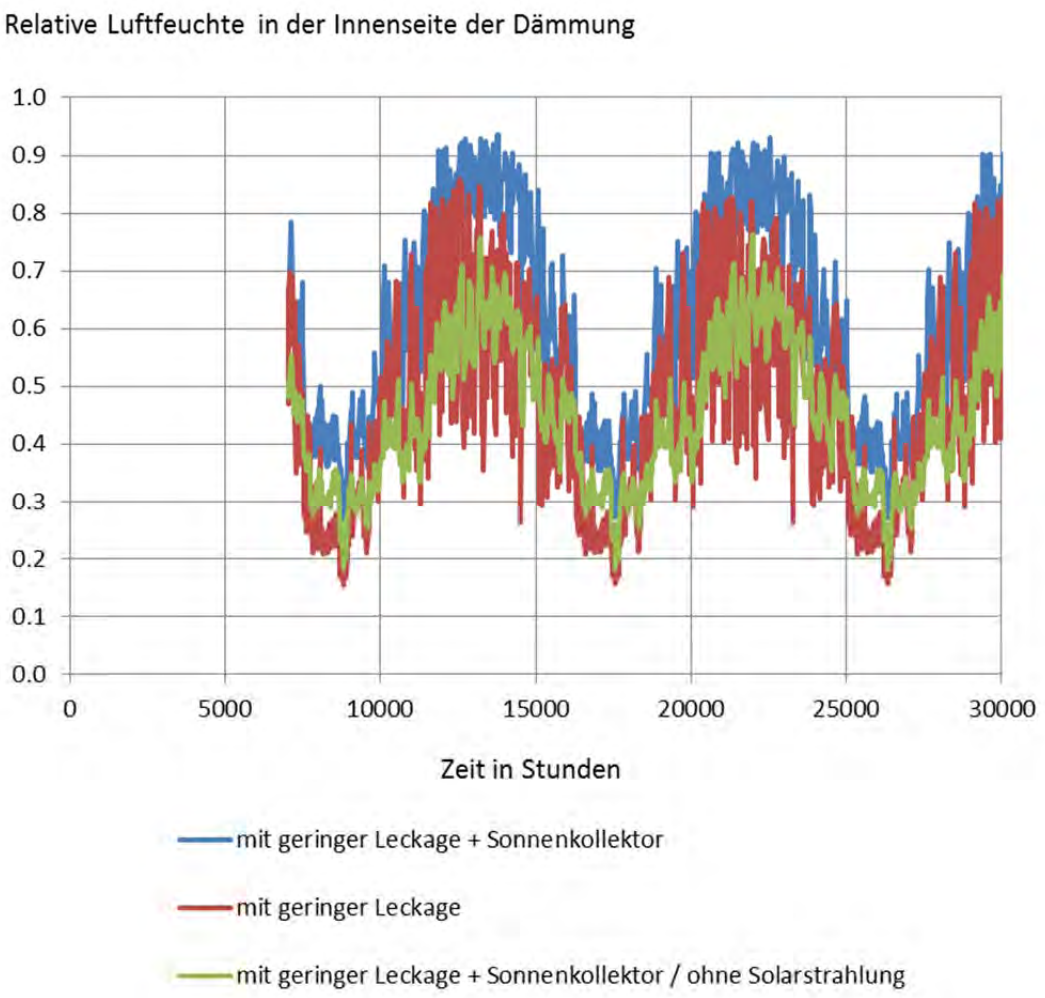


Abbildung 59: Relative Luftfeuchte an der Innenseite der Wärmedämmung

Ein weiterer Effekt der erhöhten Außenwandtemperaturen ist eine Reduktion des Wärmeverlustes über den Außenwandbauteil. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt wird der mittlere Verlust von ca. 3.5W/m² auf 2.5W/m² verringert. Dies entspricht einer Verringerung des U-Wertes für das Gefach von 0.14W/m²K auf 0.1W/m²K.

In dem berechneten Beispiel ergibt sich im Sommer ein negativer Wärmestrom. Dies bedeutet, dass vom Bauteil Wärme dem Raum zugeführt wird.

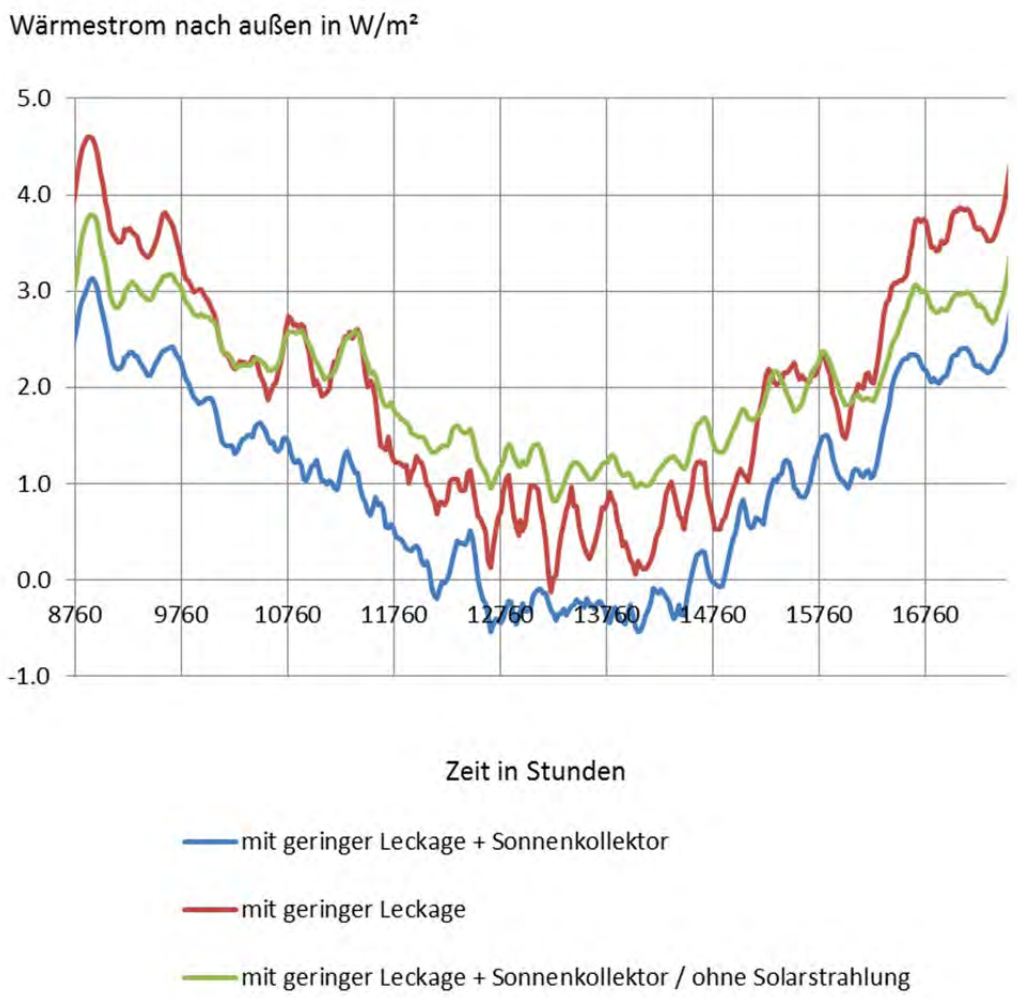


Abbildung 60: Der gleitende Wochenmittelwert für den Wärmestrom von Innen nach Außen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch eine hygrothermische Simulation das Verhalten von Fassaden mit integrierten Solarkollektoren abgebildet werden kann. Wichtige Punkte bei der weiteren Entwicklung solcher Systeme ist eine Analyse unterschiedlicher Betriebsweisen des Kollektors auf die Dauerhaftigkeit der Konstruktion. Die Erhöhung der Luftfeuchte an der Innenseite der Wärmedämmung im Sommer könnte durch eine geeignete Wahl der inneren Dampfbremse und einer Qualitätssicherung der Produktion der Grundbauteile zur Vermeidung von Leckagen verringert werden. Die Auslegung des Sommerverhaltens der an diese Fassade grenzenden Räume muss den Wärmeeintrag berücksichtigen, bzw. die Wärmedämmung des Grundbauteils ist so auszulegen, dass es keinen wesentlichen Eintrag mehr gibt. Die Verwendung des Glaserverfahrens zur Auslegung der Bauteile ist ungeeignet das Verhalten abzubilden.

6.3. Ökologische und bauphysikalische Bewertung der Bauteile

Bei der Bewertung von Bauteilen werden in den meisten Fällen Kriterien wie Dämmwirkung, Wärmebrückenfreiheit und von Seiten der Konsumenten die Kostenfrage zur Auswahl der eingesetzten Materialien herangezogen. Unter Berücksichtigung der bauphysikalischen Berechnungen sowie einer sorgfältigen Konstruktionsdurchführung kann ein wärmebrückenfreier Aufbau mit ausreichender Dämmwirkung mit den unterschiedlichsten Materialen erreicht werden. Große Unterschiede findet man hingegen bei der Ökologie der Baustoffe.
Für eine umfassende ökologische Bewertung ist eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von der Rohstoffgewinnung bis zur abschließenden Verwertung oder Entsorgung der Baustoffe erforderlich.

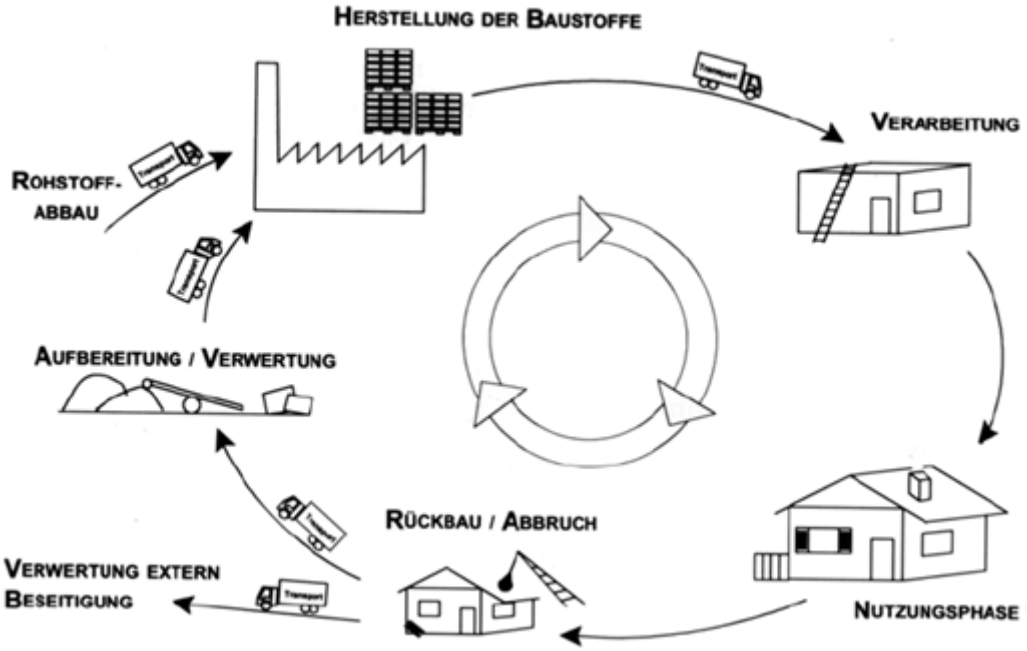


Abbildung 61: Lebenszyklus von Baustoffen [Eyerer, P. et al, 2000]

Systemgrenzen
Baustoffe beeinflussen während ihres Lebenszyklus die verschiedensten Umwelt- und Gesundheitsbereiche in sehr unterschiedlichem Ausmaß. Für eine umfassende Bewertung, bei der möglichst viele dieser Bereiche und Wirkungen abgedeckt werden, ist eine umfangreiche Datenerhebung erforderlich. Die hier angewendeten Bewertungen erstrecken sich über den gesamten Lebenszyklus. Daher wurden Daten über die Herstellung und die Nutzungsphase ermittelt sowie über den Rückbau, die Recyclingmöglichkeiten und die Entsorgung (Kompostierung, Verwertung, Deponierung) der Materialien.
Im Bereich der vorgelagerten Prozesse wurden ausschließlich Daten zur Herstellung der Produkte recherchiert. Der Aufwand für den Transport und die Verarbeitung der Materialien wurde, abgesehen von den Verarbeitungskosten, in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Besonderer Fokus wurde bei dieser Bewertung hingegen auf die Punkte Rückbau, Recycling und Entsorgung gelegt, da in den letzten Jahren in Österreich ein massiver Anstieg der Abfälle aus dem Bauwesen zu verzeichnen gewesen war. Trotz einer Senkung des Gesamtabfallaufkommens um 500.000 t auf 53.543.000 t lagen die Abfälle aus dem Bauwesen nach dem aktuellen Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2009 mit 6.870.000 t bei 12,7 % des Gesamtabfallaufkommens in Österreich. Für das Jahr 2016 wird sogar ein Anstieg auf 7.395.000 t prognostiziert. Weltweit gesehen ist für Abfälle aus dem Baubereich ein ähnlicher Anstieg zu beobachten. [Lebensministerium, 2011]

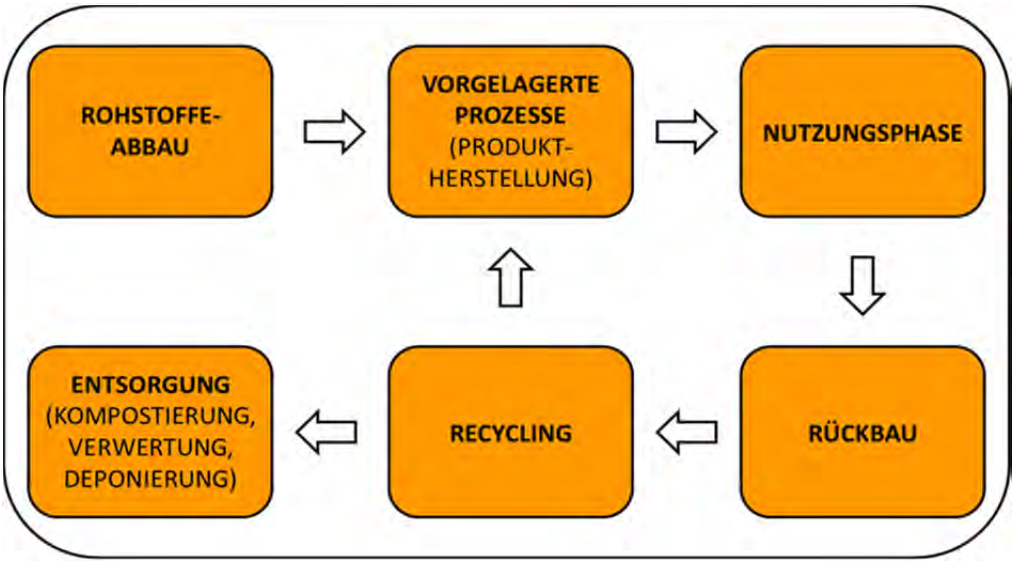


Abbildung 62: Systemgrenzen der Bewertung [GrAT, 2012]

Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung

Die ökologische Bewertung der Aufbauten in den verschiedenen Bereichen erfolgt in den anschließenden Kapiteln. Je nach Möglichkeit wird dabei ein Aufbau mit konventionellen Baustoffen mit zwei alternativen Varianten unter Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen verglichen. Der Vergleich bezieht sich jeweils auf 1 m² des Aufbaus.

Die Erhebung der relevanten Daten für die ökologische Bewertung erfolgte zunächst durch Recherche von Fachliteratur, Forschungsberichten sowie Internetdatenbanken und wurde durch Befragungen von Baustoffexperten ergänzt. In einzelnen Fällen wurde ergänzend auf die Produktangaben der Hersteller zurückgegriffen.

Die ermittelten Daten (siehe Anhang: Daten für ökologische Bewertung) dienten als Grundlage für die Erstellung einer umfangreichen Baustoffdatenbank, welche für die Bewertungen der einzelnen Konstruktionen hinsichtlich des Energie- und Ressourcenverbrauchs, der Nutzungsdauer der Baustoffe sowie weiterer Nutzungs- und Entsorgungsmöglichkeiten verwendet wurde. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Rückbaufähigkeit der Konstruktionen bzw. auf der Trennbarkeit der verwendeten Baustoffe.

Zur Auswertung der Daten wurden folgende Bewertungskriterien ausgewählt, die nachfolgend im Einzelnen noch genauer dargestellt werden:

- Ökokennzahlen
    - GWP
    - AP
    - PEI
- Rückbau
    - Trennbarkeit
    - Produktrecycling
    - Kompostierbarkeit
    - Materialrecycling
    - Thermische Verwertung
    - Deponierung
- Regionalität
- Nutzungsdauer

Es wurden ebenfalls Daten zu in Innenräumen nachgewiesenen Schadstoffgruppen wie z.B. Flammschutzmitteln, Weichmachern, Lösungsmittel oder mineralischen Fasern erhoben, um mögliche Gesundheitsbelastungen beim Einbau und in der Nutzung abschätzen zu können. Allerdings lassen sich zu den Emissionen dieser Schadstoffe für Produktgruppen nur unsichere Aussagen machen, da die Inhaltsstoffe je nach Produkt und Hersteller stark variieren. Selbst bei einer Kenntnis der gesamten Inhaltsstoffe eines Produktes bestehen weiterhin Unsicherheitsfaktoren durch natürliche Verunreinigungen der Inhaltsstoffe, insbesondere bei petrochemischen Materialien, und Wechselwirkungen mit anderen Baustoffen und Luftbestandteilen. Die ermittelten Daten flossen daher nicht in die Bewertung ein. [Bothe, W., 2007]

Bewertungsgrundlagen

Ökokennzahlen

Die Bilanzierung der Baustoffe erfolgt in der Regel stufenkumuliert, dass bedeutet, die Kennzahlen beinhalten Angaben zu den einzelnen Prozessschritten bzgl. Material-, Transport- und Energieinputs sowie Emissionen in Luft, Boden, Wasser und Abfällen bis zu einem bestimmten Zeitpunkt oder Zustand der Materialien. In der vorliegenden Studie sind die Materialien bis zu dem Zeitpunkt „Produkt ab Werk“ bilanziert, also ausschließlich für den Herstellungsprozess. Für die Folgestufen wie Nutzung, Rückbau oder Entsorgung existieren keine verlässlichen Daten, da diese stark abhängig von der gewählten Konstruktion, dem Vertriebs- und dem Einsatzort sind. [IBO, 2011]

GWP (Global Warming Potential)

Das Treibhauspotential ist der mögliche Beitrag eines Stoffes zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten, d.h. zum sogenannten Treibhauseffekt. Das mengenmäßig wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid, weshalb für jede treibhauswirksame Substanz eine Äquivalenzmenge Kohlendioxid in Kilogramm berechnet wird. Durch Multiplikation der emittierten Substanz i (GWP_i) mit der Masse der Substanz m_i in kg kann der direkte Einfluss auf die Klimaänderung als Wirkungszahl angegeben werden.

$$GWP = \sum_i GWP_i \times m_i \quad (7)$$

Die Bestimmung des Treibhauspotentials beruht auf einer Betrachtung über einen Zeitraum von 100 Jahren.
[IBO, 2011]

AP (Acidification Potential)
Das Versauerungspotenzial beschreibt die beim Herstellungsprozess anfallenden Emissionen, die als Säurebildner in Verbindung mit Wasser zur Versauerung von Böden und Gewässern sowie zur Beschädigung von Gebäuden beitragen. Hauptursache ist die Wechselwirkung von Stickoxid (NO_x) und Schwefeldioxidgasen (SO_2) mit dem Hydroxyl-Radikal und anderen Bestandteilen der Luft, was eine Umwandlung der Gase zu Salpetersäure (HNO_3) und Schwefelsäure (H_2SO_4) zur Folge hat, die in Form von z.B. saurem Regen niedergehen. Im Vergleich zum Treibhauspotential sind die Auswirkungen der Versauerung daher nicht global, sondern regional.
Die Bestimmung der Wirkungskennzahl für das Versauerungspotenzial erfolgt analog zum GWP. [IBO, 2011]

PEI (Primärenergieinhalt)
Der Primärenergieinhalt beinhaltet sämtliche energetischen Aufwendungen, die zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderlich sind, und errechnet sich aus den Daten der Inputbilanz als Summe des „natürlichen Energieinhalts“ der verbrauchten Energieträger. Der Primärenergieinhalt kann aufgeschlüsselt in nicht erneuerbare Energieträger und solche aus erneuerbaren Ressourcen angegeben werden. Im Rahmen dieses Projektes werden nur die Daten der nicht erneuerbaren Energien für die Berechnungen der grauen Energie der Baustoffe herangezogen. [IBO, 2011] Zu beachten ist dabei allerdings auch die Suffizienz der Verwendung nachwachsender Rohstoffe sowie des daraus resultierenden Flächenverbrauchs.

Die ermittelten äquivalenten Größen für die Ökokennzahlen (GWP, AP und PEI) beziehen sich jeweils auf die Fläche von 1 m² des betrachteten Aufbaus. Weiters wurden für jeden Aufbau die prozentualen Abweichungen vom Gesamtdurchschnitt der jeweiligen Bauteilkategorie berechnet und in einem Diagramm dargestellt.

Rückbau
Entsprechend einer besonders nachhaltigen und effektiven Nutzung von Rohstoffen beruht die Rückbau-Bewertung auf der Grundlage der Kaskadennutzung, bei der die Rohstoffe bzw. daraus hergestellte Produkte über mehrere Stufen so lange wie möglich in einem Wirtschaftssystem genutzt werden. Für diesen Fall umfasst die Nutzungskaskade eine einfache bis mehrfache stoffliche Nutzung mit abnehmender Wertschöpfung (Produkt- und Materialrecycling) mit anschließender Kompostierung oder energetischer Nutzung (thermische Verwertung). Die Deponierung der Materialien ist bei diesem System ausschließlich als letzte Möglichkeit zu betrachten.

Die ökologische Bewertung der einzelnen Nutzungsstufen für den gesamten Aufbau erfolgte mit einer Punktebewertung abhängig von der Trennbarkeit der Baustoffe, der Masse der Baustoffe und der Nutzungsstufe mit folgender Formel:

$$\text{Nutzungsstufe}_{\text{Aufbau}} = \frac{\sum \text{Trennbarkeit}_{\text{Baust.}} \times \text{Masse}_{\text{Baust.}} \times \text{Nutzungsstufe}_{\text{Baust.}}}{\text{Masse}_{\text{Aufbau}}} \quad (8)$$

Parallel dazu erfolgte die ökologische Bewertung der einzelnen Baustoffe in einer Konstruktion mit nachstehender Formel:

$$\text{Rückbau}_{\text{Baust.}} = \text{Trennbarkeit}_{\text{Baust.}} \times \sum \text{Masse}_{\text{Baust.}} \times \text{Nutzungsstufen}_{\text{Baust.}} \quad (9)$$

Aufbauend auf den Bewertungen für die einzelnen Baustoffe erfolgt die Bewertung des Rückbaus für den gesamten Aufbau:

$$\text{Rückbau}_{\text{Aufbau}} = \frac{\sum \text{Rückbau}_{\text{Baust.}}}{\text{Masse}_{\text{Aufbau}}} \quad (10)$$

Im Nachfolgenden erfolgt eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Nutzungsstufen sowie der Trennbarkeit der Baustoffe.

Trennbarkeit

Die Rückbaubarkeit und die damit verbundene Wieder- bzw. Weiterverwendung von Baustoffen ist grundsätzlich zurückzuführen auf die Befestigungsart der einzelnen Baustoffe in einer Konstruktion und natürlich auch auf die Verbindung der verschiedenen Bauelemente miteinander. So ermöglicht z.B. eine einfache Rückbaubarkeit der Konstruktion eine sortenreine Trennung der Baustoffe. Dies ist für eine Wiederverwendung oder umweltfreundliche Entsorgung unumgänglich, weshalb die Trennbarkeit der Baustoffe eine große Gewichtung bei dieser Bewertung hat.

Abhängig von der Art der Befestigung wurden für die Trennbarkeit 1 bis maximal 10 Punkte vergeben. Je einfacher die Trennung der Baustoffe, desto höher die Anzahl der Punkte.

Tabelle 15: Bewertung der Trennbarkeit

Befestigung	Beispiel	Punkte
lose	verlegt, verklemmt, eingeblasen etc.	10
leichte Verklebung/mechanische Befestigung	lose verlegt und Randbereich verklebt, verlegt mit Klebeband, aufliegend mit Klammern etc.	9
mechanische Befestigung	Schrauben, Nägel, Systemschienen/Profile etc.	7
mechanische Befestigung und leichte Verklebung/mechanische Befestigung	Schrauben, Nägel, etc. und Randbereich leicht verklebt etc.	6
mechanische Befestigung des Gesamtelementes	Gesamtelement demontier- und recyclebar	6
mittlere Verklebung	lose aufliegend aber Randbereich stark verklebt oder verschweißt, verleimt etc.	5
starke Verklebung/Verbindung durch Erhärten	verklebt mit Spachtel oder Mörtel, Putze etc.	2
Verschweißen/fließend verlegt	Bitumen, Beton, Estrich etc.	1

Produktrecycling

Nach einer erfolgreichen sortenreinen Trennung erfolgt entsprechend der Kaskadennutzung idealerweise ein Produktrecycling der Baustoffe, wodurch es zu keiner Abnahme der stofflichen Wertschöpfung kommt.

Das Produktrecycling unterteilt sich in das direkte Produktrecycling (10 Punkte) und Produktrecycling mit höherem Aufwand (8 Punkte).

Beim direkten Produktrecycling kann das bereits gebrauchte Produkt für den ursprünglichen Nutzungszweck ohne zusätzlichen Aufbereitungsaufwand wiederverwendet werden.

Für die zweite Kategorie kann das Produkt erst nach einer Aufbereitung wiederverwendet werden, wie z.B. bei der bitumierten Drainageplatte. Bei dieser muss vor der Wiederverwendung für den gleichen Einsatzzweck eine neue Bitumenschicht aufgetragen werden.

Kompostierbarkeit

Die Kompostierung ist die vorrangig angestrebte Form der Entsorgung und steht bei der Kaskadennutzung unmittelbar nach dem Produktrecycling.

Hierbei wird zwischen der direkten Kompostierung (9 Punkte) und der Kompostierung mit höherem Aufwand (7 Punkte) unterschieden.

Die direkte Kompostierung hat somit sogar einen höheren Wert als das Produktrecycling mit höherem Aufwand, da der Baustoff ohne zusätzliche Aufwendungen und negative Auswirkungen auf die Umwelt in die Natur zurückgeführt werden kann.

Für Baustoffe der zweiten Kategorie trifft dies nicht zu, da bei diesen ein zusätzlicher Aufwand wie eine Zerkleinerung bei Dämmplatten aus Kork oder Hanf notwendig ist.

Materialrecycling

Die zweite Stufe bei der stofflichen Nutzung ist das Materialrecycling. Dieses unterteilt sich wiederum in die Kategorien Materialrecycling – gleicher Zweck (6 Punkte) und Materialrecycling – Downcycling (4 Punkte).

Zur ersten Kategorie zählen z.B. Materialien wie Glas- oder Steinwolle, welche durch Einschmelzen zu neuen Bauprodukten für den gleichen Einsatzzweck verarbeitet werden können.

Für Materialien der Kategorie Downcycling ist dies nicht möglich. Ein Beispiel dafür ist Beton. Dieser kann z.B. zerkleinert und als Schüttung oder Zuschlagstoff verwendet werden, sofern er nicht mit Bitumenbahnen verklebt wurde, aber nicht zur Herstellung von neuen Betonbauteilen.

Thermische Verwertung

Im Anschluss an die stoffliche Nutzung besteht die Möglichkeit einer abschließenden energetischen Nutzung.

In dieser Stufe der Kaskadennutzung erfolgt eine mögliche Unterteilung in die Kategorien thermische Verwertung – Energieerzeugung (7 Punkte) und thermische Verwertung – Abfallverbrennung (4 Punkte).

Bei den Materialien der Kategorie Energieerzeugung handelt es sich hauptsächlich um unbehandelte Biomasse wie Holz oder Stroh, da bei deren Verbrennung kein zusätzliches CO_2 freigesetzt wird. Die Verbrennung dieser Materialien verläuft also CO_2-neutral und eignet sich daher hervorragend zur Wärmeerzeugung.

Die Einteilung in die zweite Kategorie (Abfallverbrennung) stellt eine notwendige Behandlungsart zur Erreichung der Ziele und Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes wie der Verringerung des zukünftigen Deponievolumens dar. Beim Verbrennungsprozess wird eine möglichst vollständige Umsetzung des Materials zu Kohlendioxid, Wasser(dampf), Schwefeldioxid etc. angestrebt, was bei definierten Materialien weitestgehend erreichbar ist.

Die thermische Entsorgung von Abfällen kann neben einer Verbrennung in speziellen Abfallverbrennungsanlagen, an welche höchste Anforderungen hinsichtlich der Zerstörungseffizienz, des Emissionsschutzes und der Qualität der Rückstände gestellt sind, abhängig vom Material auch durch eine Mitverbrennung in industriellen Anlagen erfolgen.

Die bei der Verbrennung anfallende Energie sollte z.B. als Fernwärme im Kommunalbereich oder als Ersatz fossiler Energieträger in der Industrie genutzt werden.

[FA19D, 2012]

Deponierung

Entsprechend dem System der Kaskadennutzung ist die Deponierung der Materialien ausschließlich als letzte Möglichkeit zu nutzen. Ausgehend von einer Bewertung der zurückbleibenden Schadstoffe erfolgt entsprechend der Deponieverordnung idF BGBl. II Nr. 178/2010 eine Einteilung in die Deponieklassen. Es wird zwischen der Bodenaushubdeponie (Deponieklasse 1), der Inertabfalldeponie (Deponieklasse 2), der Deponie für nicht gefährliche Abfälle, die sich wiederum in die Baurestmassendeponie (Deponieklasse 3a),

Reststoffdeponie (Deponieklasse 3 b) und Massenabfalldeponie (Deponieklasse 3 c) unterteilt, sowie der Deponie für gefährliche Abfälle (Untertage Deponie; Deponieklasse 4) unterschieden.
[Deponieverordnung, 2010]

Wegen der variierenden Inhalts- und Schadstoffe abhängig von Produkt und Hersteller (siehe Methoden zur Datenerhebung und Datenauswertung) erfolgt im Rahmen dieser Bewertung eine Einteilung der Materialien in Deponieklasse 1 (2 Punkte), Deponieklasse 2 und 3 (1 Punkt) und Deponieklasse 4 (0 Punkte).

Auswertung Rückbau
In der nachfolgenden Tabelle erfolgt eine Zusammenfassung der einzelnen Nutzungsstufen.

Tabelle 16: Bewertung Nutzungsstufen

Kaskadennutzung	Beispiel	Punkte
direktes Produktrecycling	Schüttungen	10
direkte Kompostierbarkeit	Leimfreie Holzbaustoffe	9
Produktrecycling mit höherem Aufwand	Bitumierte Drainageplatte	8
Kompostierbarkeit mit höherem Aufwand	Korkdämmplatte	7
Thermische Verwertung - Energieerzeugung	Strohballen	7
Materialrecycling - gleicher Zweck	Steinwolle	6
Materialrecycling - Downcycling	Beton	4
Thermische Verwertung - Abfallverbrennung	Verleimte Holzbaustoffe	4
Deponieklasse 1	Nicht kontaminierter Bodenaushub	2
Deponieklasse 2 und 3	Nicht gefährliche/inerte Abfälle	1
Deponieklasse 4	Gefährliche Abfälle	0

Zur besseren Übersicht bzw. für einen besseren Vergleich erfolgte ausgehend von der erreichten Punktezahl die Einteilung der Nutzungsstufen und der Rückbaubarkeit des gesamten Aufbaus in die Kategorien rot, gelb und grün (Ampelbewertung).

Tabelle 17: Bewertungskategorien

Bewertung	Rückbau Gesamt	Produkt-recycling	Kompostier-barkeit	Material-recycling	Thermische Verwertung	Deponie-klasse
rot	0–69,99	0–19,99	0–17,99	0–13,99	0–13,99	0–3,99
gelb	70–139,99	20–39,99	18–35,99	14–27,99	14–27,99	4–7,99
grün	140+	40+	36+	28+	28+	8+

Regionalität
Die Regionalität ist ein weiteres Kriterium, welches in die Bewertung der Aufbauten einfließt. In dieser Bewertung umfasst der Begriff Regionalität eine Aussage zur möglichen Herstellung von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, die in Österreich angebaut werden können. Im Genaueren werden darunter heimische land- und forstwirtschaftliche

Rohstoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs verstanden, also keine mineralischen Rohstoffe oder auf Erdöl basierende Materialien.
Abgesehen vom Beitrag zur Schonung der endlichen Rohstoffe bilden diese Materialien die Grundlage für die Verwirklichung einer Kreislaufwirtschaft. Ein weiterer besonderer Vorteil dieser regional produzier- und nutzbaren Materialien sind die kurzen Transportwege. Im Vergleich zu den meisten konventionellen Baustoffen können dadurch große Mengen an Energie für den Transport eingespart werden, was wiederum einen positiven Effekt auf das Klima hat.
Für die Bewertung werden die Massen der regional produzierbaren Materialien eines Aufbaus aufsummiert und anschließend nach dem prozentualen Anteil am Gesamtaufbau in die Kategorien rot (0–33,33 %), gelb (33,34–66,66 %) und grün (66,67–100 %) eingeteilt.

Nutzungsdauer
Ein weiteres wichtiges Bewertungskriterium ist die Nutzungsdauer der Baustoffe. Diese ist zum einen ein bedeutender Abschnitt im Lebenszyklus der Baustoffe und zum anderen aber auch ein wichtiger Aspekt bei der ökologischen Gebäudequalität bzw. deren Lebenszyklusanalyse.

In dem Endbericht „Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen“ erfolgte eine umfangreiche Zusammenstellung von Referenz-Nutzungsdauern für Baustoffe und Bauteile in typischen Einbausituationen. Entsprechend ISO 15686-1 wurde für die Nutzungsdauer die Zeitspanne zwischen dem Einbau und dem Erreichen bzw. Überschreiten der Grenzanforderungen an die technischen Nutzungsvoraussetzungen gewählt.
Unter Annahme eines Betrachtungszeitraumes von 100 Jahren gemäß prEN 15804 beträgt bei Durchführung von entsprechenden Wartungsarbeiten mit Österreich vergleichbarer Klimata die maximale Nutzungsdauer 100 Jahre. Außergewöhnliche Ereignisse wie Wasserrohrbruch oder Hochwasser wurden zur Bestimmung der Referenz-Nutzungsdauern nicht berücksichtigt.
Zur Bestimmung der Nutzungsdauer des gesamten Aufbaus wurde der Mittelwert aus den durchschnittlichen Maximalwerten für die Nutzungsdauer der einzelnen Baustoffe berechnet und in die Bewertungskategorien rot (0-49,99 Jahre), gelb (50-69,99 Jahre) und grün (70-100 Jahre) eingeteilt [IBO, 2009].

6.4. Detailbeschreibung der Bauteile

Die folgenden Aufbauten wurden mit einschlägiger Literatur bzw. Herstellerangaben, welche in Kapitel 9 aufgelistet sind, erstellt. Weiters wurden eigene Messungen und Berechnungen für die ökologischen Baustoffe durchgeführt. Die Kosten wurden mittels BKI-Baukosten ermittelt und auf der Ebene der Positionen bestimmt. Es wurden nur die Kostengruppen 320 bis 369, lt. DIN 276-1, d.h. das Bauwerk – die Baukonstruktion – ohne Baugrube, aber mit Gründung, Außenwände, Decken und Dächer berücksichtigt. Für die Aufbauten ist gemäß van Sark et al, 2010 (vgl. Seite 257) von einer Lernrate von 18% (±2%) auszugehen. Tabelle 18 zeigt die auf den folgenden Seiten beschriebenen Aufbauten der Modellgebäude.

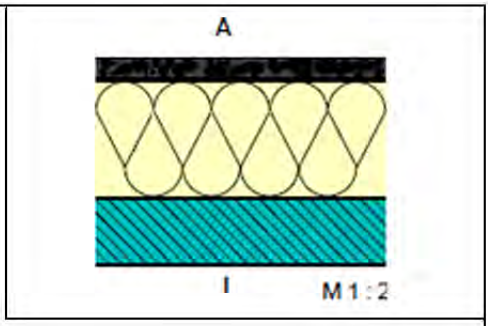
Tabelle 18: Aufbauten der Modellgebäude

Bodenplatte	**Konventionell**	**Konventionell-Ökologisch**	**Ökologisch**
GZH, EFH, RH, MFH, BÜRO	UGD_Erdberührt1	UGD_Erdberührt2	-
WIFT	UGD_Erdberührt3	-	-
Flachdach	**Konventionell**	**Konventionell-Ökologisch**	**Ökologisch**
GZH, EFH, RH, MFH, BÜRO	OGD1	OGD2	OGD3
WIFT	OGD4	OGD5	OGD6
Schrägdach	**Konventionell**	**Konventionell-Ökologisch**	**Ökologisch**
EFH, RH, MFH	OGD7	OGD8	OGD9
WIFT	OGD4	OGD5	OGD6
Geschossdecke	**Konventionell**	**Konventionell-Ökologisch**	**Ökologisch**
GZH, EFH, RH, MFH, BÜRO	Trenndecke1	Trenndecke2	Trenndecke3
Außenwand	**Konventionell**	**Konventionell-Ökologisch**	**Ökologisch**
GZH, EFH, RH, MFH	AW1	AW2	AW3 / AW4
BÜRO	AW1,AW5 AW6	AW2	AW3
WIFT	AW7	AW8	AW9
Erdberührte Außenwand	**Konventionell**	**Konventionell-Ökologisch**	**Ökologisch**
GZH, EFH, MFH	Kellerwand_Erde1	-	-
Trennwand	**Konventionell**	**Konventionell-Ökologisch**	**Ökologisch**
RH	IW1	IW2	
Unterste Geschoßdecke	**Konventionell**	**Konventionell-Ökologisch**	**Ökologisch**
MFH	UGD_Keller1	UGD_Keller2	UGD_Keller3

OGD1 - Flachdach Stahlbeton EPS						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Kies	**1.00**	0.060	**100**	0.700	**1000**	1800
Polymerbitumen-Dichtungsbahn	**288.00**	0.008	**100**	0.230	**1260**	1100
Dampfdruckausgleichsschicht PE-Folie	**50.00**	0.001	**100**	0.500	**1260**	980
Polystirol EPS 20	**18.00**	0.360	**100**	0.038	**1400**	20
Aluminium-Bitumendichtungsbahn	**> 1500**	0.001	**100**	0.230	**1260**	1100
Dampfdruckausgleichsschicht PE-Folie	**50.00**	0.001	**100**	0.500	**1260**	980
Stahlbeton	**18.00**	0.200	**100**	2.330	**1116**	2400
Spachtel - Gipsspachtel	**0.03**	0.003	**100**	0.800	**900**	1300
Innen						
	Gesamt	**0.633**		**U-Wert in W/m².K**		**0.102**

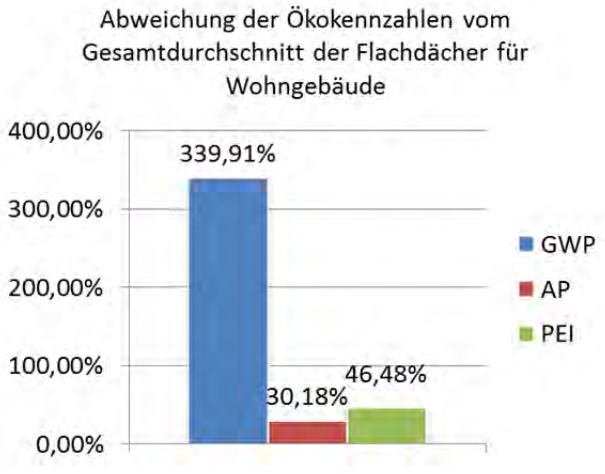
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	182	**217**	273

Bemerkungen:
typischer Warmdachaufbau
Die Dampfdruckausgleichsschicht ermöglicht die Verteilung von Kondensat über die Bauteilfläche, um eine punktuelle Blasenbildung und Leckagestelle zu vermeiden.



Massiver Aufbau. Fast keine sortenreine Trennung möglich.
Kies und EPS kann wiederverwendet werden. Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Mit Ausnahme der mineralischen Materialien können alle Baustoffe thermisch verwertet werden.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Für diesen Aufbau wird mit Abstand am meisten Energie benötigt sowie die größte Menge an CO2 freigesetzt.

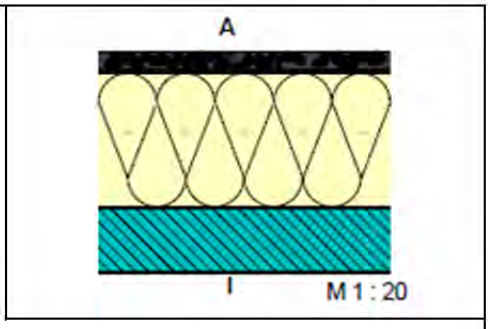
GWP [kgCO2eq/m²]	150,63
AP [kgSO2eq/m²]	0,721450
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	2761,29
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



OGD2 - Flachdach Stahlbeton Kork						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Kies	**0.12**	0.060	**100**	0.700	**1000**	1800
Gummi (EPDM)	**49.60**	0.002	**100**	0.500	**1260**	980
Korkdämmplatten	**4.20**	0.420	**100**	0.047	**1800**	120
PE-Folie	**200.00**	0.002	**100**	0.500	**1260**	980
Stahlbeton	**18.00**	0.200	**100**	2.330	**1116**	2400
Spachtel - Gipsspachtel	**0.03**	0.003	**100**	0.800	**900**	1300
Innen						
	Gesamt	**0.687**		**U-Wert in W/m².K**		**0.107**

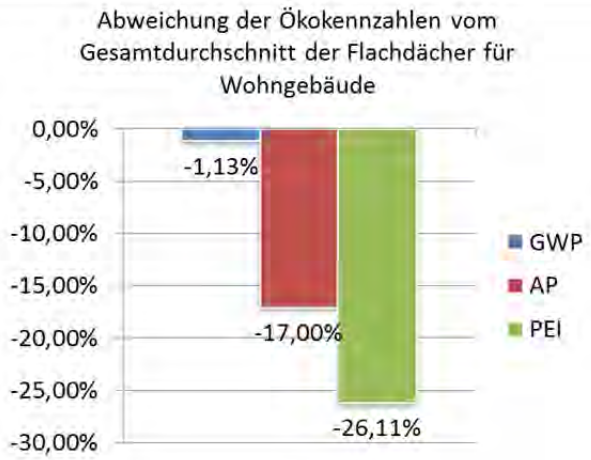
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	150	**174**	218

Bemerkungen:



Massiver Aufbau. Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Kies und Kork können wiederverwendet werden. Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Das Kork kann kompostiert werden.
Alle nicht mineralischen Baustoffe können thermisch verwertet werden.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Lange Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Der Energiebedarf ist für diesen Aufbau am niedrigsten.

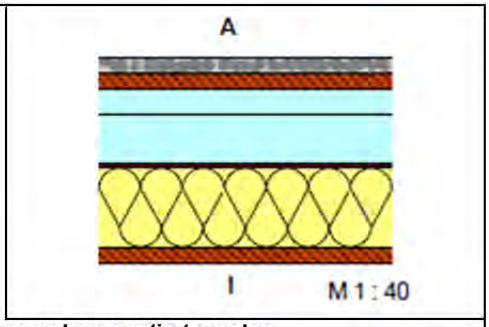
GWP [kgCO2eq/m²]	33,86
AP [kgSO2eq/m²]	0,459987
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1392,97
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



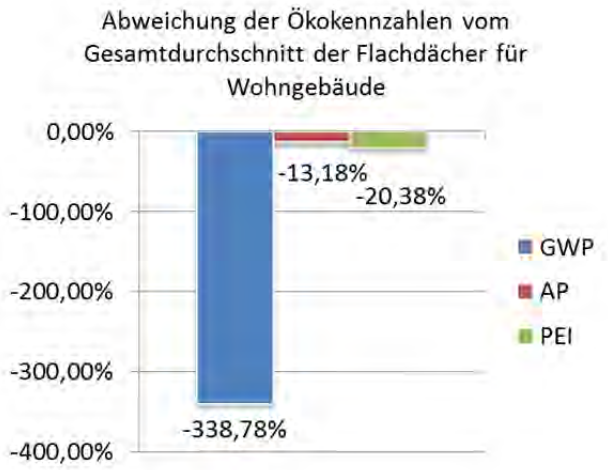
OGD3 - Flachdach Holz-Stroh (S-House)						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
* Blähton	0.50	0.100	100	0.160	900	400
* Gummi (EPDM)	155.00	0.005	100	0.170	1000	1130
* Kreuzlagenholz	15.00	0.100	100	0.130	1700	500
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	1.28	0.160	16	0.120	2340	500
* Luftschicht nicht ruhend	0.00		84	1.000	1000	1
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	0.60	0.300	4	0.120	2340	500
* Luftschicht nicht ruhend	0.00		96	1.000	1000	1
MDF-Platte	0.60	0.030	100	0.100	2340	600
Baustrohballen	1.50	0.500	100	0.049	2000	110
Baupapier	0.59	0.0002	100	0.170	170	500
Kreuzlagenholz	15.00	0.100	100	0.130	1700	500
Innen						
* geht nicht in die U-Wert Berechnung ein	Gesamt	1.295		U-Wert in W/m².K		0.087

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	230	261	307

Bemerkungen:
diffusionsoffener Aufbau der Dämmebene
Die Hinterlüftung der wasserableitenden Schicht begünstigt das Austrocknungsvermögen des Aufbaus.
Die Hinterlüftungsebenen müssen an den Dachrändern funktionstüchtige Vogelschutzgitter aufweisen. Außerdem muss der Eintrag von Flugschnee vermieden werden, da kein regensicheres Unterdach vorhanden ist.
Sortenreine Trennung möglich.
Mit Ausnahme des Baupapiers können alle Materialien wiederverwendet werden. Die Strohballen und leimfreien Holzbaustoffe können kompostiert werden.
Alle Baustoffe außer Blähton können thermisch verwertet werden.
Der Großteil der Materialien kann regional produziert werden.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Wegen dem hohen Bedarf an ökologischen Materialien für diesen komplexen Dachaufbau ist der Primärenergiegehalt nicht der niedrigste. Aus dem gleichen Grund werden jedoch die mit Abstand größten Mengen an CO2 gebunden.



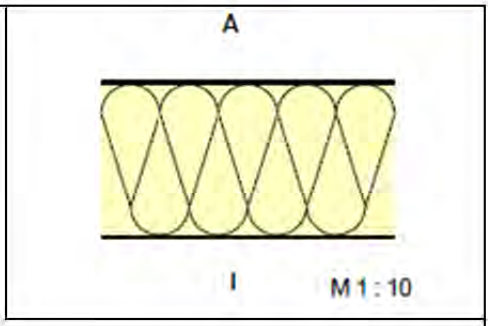
GWP [kgCO2eq/m²]	-81,76
AP [kgSO2eq/m²]	0,481145
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1500,97
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



OGD4 - Flachdach Schnellbaudämmpaneel						WIFT
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Stahlblech, verzinkt	> 1500	0.001	100	54.000	500	7800
Steinwolle Klemmfilz	0.24	0.239	100	0.040	1030	31
Stahlblech, verzinkt	> 1500	0.001	100	54.000	500	7800
Innen						
	Gesamt	0.240		U-Wert in W/m².K		0.162

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	69	118	166

Bemerkungen:
Es handelt sich um eine dicht-dicht Konstruktion, die bei Leckagen in der innenliegenden Panelplatte zu einer Durchfeuchtung und zu Schäden der Dämmschicht führen kann.
Es muss daher eine saubere Verarbeitung und Montage der Panele erfolgen.



Es ist zu beachten, dass die Dämmpaneele nicht das Haupttragwerk bilden. Das Haupttragwerk ist nicht in diesen Berechnungen inkludiert.
Trennung nur nach vollständiger Demontage des Elementes möglich. Sortenreine Trennung möglich.
Alle Materialien können wiederverwendet werden.
Keine kompostierbaren Materialien.
Keine thermische Verwertung möglich.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Kurze Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Für diesen Aufbau wird am wenigsten Energie benötigt.
Auch ohne Tragkonstruktion wird die größte Menge an CO2 freigesetzt.

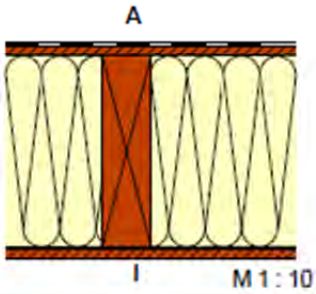
GWP [kgCO2eq/m²]	31,24
AP [kgSO2eq/m²]	0,159726
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	490,19
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	

OGD5 - Flachdach Holz-Mineralwolle						WIFT
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Gummi (EPDM)	**49.60**	0.002	**100**	0.170	**1000**	1130
OSB-Platte	**4.32**	0.018	**100**	0.130	**2340**	610
Glaswolle MW-W Dämmfilz	**0.28**		**93**	0.040	**1030**	20
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. Getrocknet	**1.11**	0.300	**7**	0.120	**2340**	500
PE-Folie	**10.00**	0.0001	**100**	0.500	**1260**	980
OSB-Platte	**3.60**	0.015	**100**	0.130	**2340**	610
Innen						
	Gesamt	**0.335**		**U-Wert in W/m².K**		**0.133**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	85	**123**	160

Bemerkungen:
Konstruktion ohne regensicherem Unterdach;
Diese Konstruktion gilt als wenig schadenstolerant, da es keine Hinterlüftungsebene gibt. Bei einer dichten Konstruktion sind keine Schäden zu erwarten. Eine Leckage in der luftdichten Schicht (an der Innenseite der Dämmung) führt jedoch zu einer Feuchtekumulation in der Dämmebene und kann zu Schäden an der Konstruktion führen.

Besonnung und Verschattung sind zu beachten!



Es ist zu beachten, dass die Dämmpaneele nicht das Haupttragwerk bilden. Das Haupttragwerk ist nicht in diesen Berechnungen inkludiert.
Sortenreine Trennung zum Großteil möglich.
Die nicht verschweißten Holzbaustoffe und die Glaswolle können wiederverwendet werden.
Das Nadelholz kann kompostiert werden.
Mit Ausnahme der Glaswolle können alle Baustoffe thermisch verwertet werden.
Der Großteil der Materialien kann regional produziert werden.
Durchschnittliche Nutzungsdauerdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Der Energiegehalt ist für diesen Aufbau am höchsten.
Trotzdem wird bei der Herstellung mehr CO2 gebunden als freigesetzt.

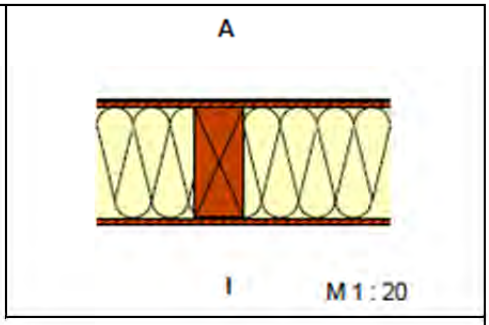
GWP [kgCO2eq/m²]	-9,19
AP [kgSO2eq/m²]	0,254634
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	698,68
Produktrecycling	🟢
Kompostierbarkeit	🔴
Materialrecycling	🟢
Thermische Verwertung	🟡
Deponierung	🟡
Rückbau Gesamt	🟢
Regionalität	🟡
Nutzungsdauer	🟡

OGD6 - Flachdach Holz-Stroh						WIFT
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Gummi (EPDM)	**49.60**	0.002	**100**	0.170	**1000**	1130
OSB-Platte	**4.32**	0.018	**100**	0.130	**2340**	610
Baustrohballen	**0.97**		**93**	0.049	**2000**	110
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. Getrocknet	**1.30**	0.350	**7**	0.120	**2340**	500
Baupapier	**0.59**	0.0001	**100**	0.170	**170**	500
OSB-Platte	**3.60**	0.015	**100**	0.130	**2340**	610
Innen						
	Gesamt	**0.385**		**U-Wert in W/m².K**		**0.138**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	101	**139**	172

Bemerkungen:
Konstruktion ohne regensicherem Unterdach;
Diese Konstruktion gilt als wenig schadenstolerant, da es keine Hinterlüftungsebene gibt.

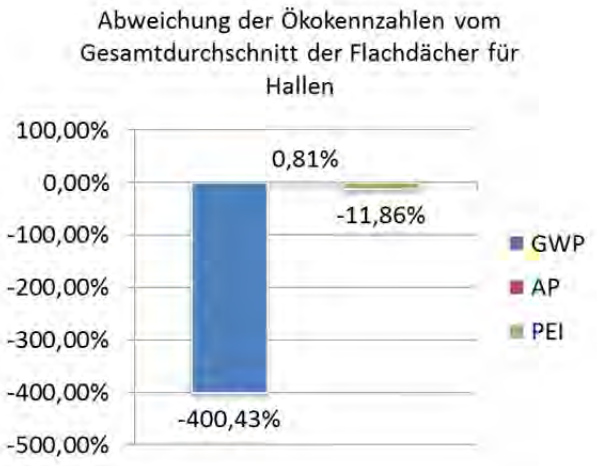
Besonnung und Verschattung sind zu beachten!



Es ist zu beachten, dass die Dämmpaneele nicht das Haupttragwerk bilden. Das Haupttragwerk ist nicht in diesen Berechnungen inkludiert.

Sortenreine Trennung zum Großteil möglich.
Die nicht verschweißten Holzbaustoffe und die Strohballen können wiederverwendet werden.
Das Nadelholz und die Strohballen können kompostiert werden.
Alle Baustoffe können thermisch verwertet werden.
Bis auf EPDM können alle Materialien regional produziert werden.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Bei diesem Aufbau wird die größte Menge an CO2 gebunden.

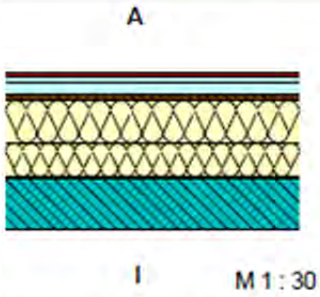
GWP [kgCO2eq/m²]	-65,04
AP [kgSO2eq/m²]	0,209711
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	494,62
Produktrecycling	🟢
Kompostierbarkeit	🟢
Materialrecycling	🟢
Thermische Verwertung	🟢
Deponierung	🟡
Rückbau Gesamt	🟢
Regionalität	🟢
Nutzungsdauer	🟡



OGD7 - Schrägdach Porenbeton-Glaswolle						EFH RH MFH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
* Dachziegel	0.25	0.025	100	1.000	900	1800
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	0.23	0.030	15	0.120	2340	500
* Luftschicht nicht ruhend	0.03		85	0.025	1000	1
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	0.48	0.050	19	0.120	2340	500
* Luftschicht nicht ruhend	0.04		90	0.050	1000	1
Dachauflegebahn PE, diffusionsoffen	0.03	0.001	100	0.500	1260	980
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	1.25	0.025	100	0.120	2340	500
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, technisch getrocknet	1.00	0.200	10	0.120	2340	500
Glaswolle MW-W Dämmfilz	0.18		90	0.040	1030	20
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, technisch getrocknet	0.80	0.160	10	0.120	2340	500
Glaswolle MW-W Dämmfilz	0.14		90	0.040	1030	20
Dampfdruckausgleichsschicht PE-Folie	20.00	0.0002	100	0.500	1260	980
Porenbeton 600kg	1.20	0.240	100	0.160	1116	600
Spachtel - Gipsspachtel	0.03	0.003	100	0.800	900	1300
Innen						
* geht nicht in die U-Wert Berechnung ein	Gesamt	0.734		U-Wert in W/m².K		0.097

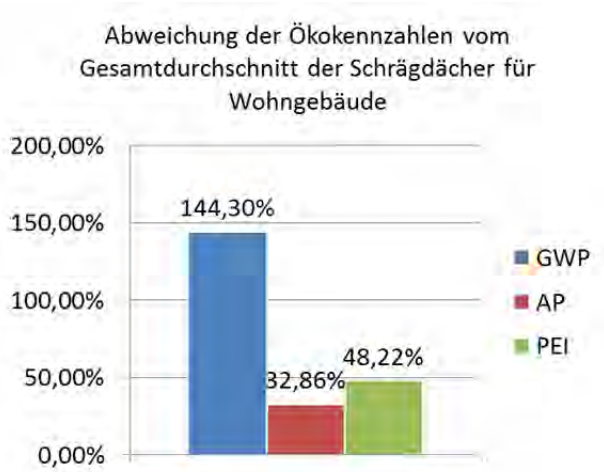
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	211	243	332

Bemerkungen:
Schrägdachaufbau mit regensicherem Unterdach



Sortenreine Trennung zum Großteil möglich. Die Dachziegel, die Glaswolle sowie alle Holzbaustoffe können wiederverwendet werden. Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich. Alle Holzbaustoffe können kompostiert werden. Mit Ausnahme der mineralischen Materialien können alle Baustoffe thermisch verwertet werden. Die Holzbaustoffe können regional produziert werden. Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Für diesen Aufbau wird die meiste Energie benötigt und auch die freigesetzte Menge an CO2 ist am größten.

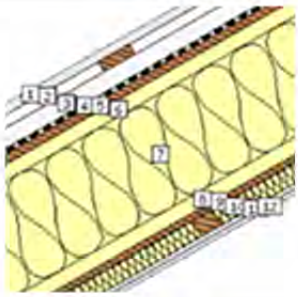
GWP [kgCO2eq/m²]	20,71
AP [kgSO2eq/m²]	0,386308
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1318,17
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



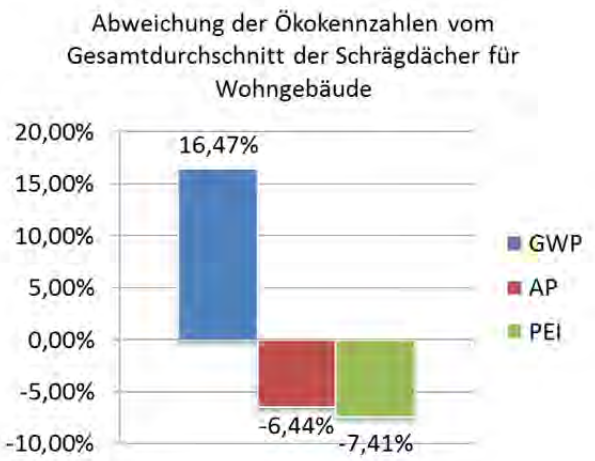
OGD8 - Schrägdach Holz-Zellulose Holz-I-Träger						EFH RH MFH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
* Dachziegel	**0.25**	0.025	**100**	1.000	**900**	1800
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**0.23**	0.030	**15**	0.120	**2340**	500
* Luftschicht nicht ruhend	**0.03**		**85**	0.025	**1000**	1
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**0.25**	0.050	**10**	0.120	**2340**	500
* Luftschicht nicht ruhend	**0.05**		**90**	0.050	**1000**	1
Dachauflegebahn PE, diffusionsoffen	**0.03**	0.001	**100**	0.500	**1260**	980
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**1.20**	0.024	**100**	0.120	**2340**	500
OSB-Platte	**0.77**	0.04	**8**	0.130	**2340**	610
Zellulosefaserflocken	**0.04**		**92**	0.041	**1800**	55
Holz - Furniersperrholz	**0.28**	0.28	**1**	0.440	**2340**	650
Zellulosefaserflocken	**0.28**		**99**	0.041	**1800**	55
OSB-Latte	**0.77**	0.040	**8**	0.130	**2340**	610
Zellulosefaserflocken	**0.04**		**92**	0.041	**1800**	55
OSB-Platte	**4.32**	0.018	**100**	0.130	**2340**	610
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**0.25**		**10**	0.120	**2340**	500
Schafwolle - Dämmfilz	**0.05**	0.050	**90**	0.040	**1800**	30
Gipsfaserplatte	**0.13**	0.013	**100**	0.270	**792**	1180
Gipsfaserplatte	**0.13**	0.013	**100**	0.270	**792**	1180
Innen						
*** geht nicht in die U-Wert Berechnung ein**	**Gesamt**	**0.583**		**U-Wert in W/m².K**		**0.096**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	181	**206**	277

Bemerkungen:
Schrägdachaufbau mit regensicherem Unterdach Sortenreine Trennung möglich. Alle Holzbaustoffe und Dämmmaterialien sowie die Dachziegel können wiederverwendet werden. Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich. Alle leimfreien Holzbaustoffe und die Schafwolle können kompostiert werden. Mit Ausnahme der mineralischen Materialien können alle Baustoffe thermisch verwertet werden. Regionale Produktion möglich. Durchschnittlcihe Nutzungsdauer. Bei diesem Aufbau wird mehr CO2 gebunden als freigesetzt



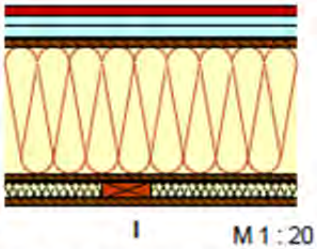
GWP [kgCO2eq/m²]	-39,04
AP [kgSO2eq/m²]	0,272036
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	823,42
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



OGD9 - Schrägdach Holz-Stroh						EFH RH MFH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Aussen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
* Dachziegel	**0.30**	0.030	**100**	1.000	**900**	1800
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**0.10**	0.035	**6**	0.120	**2340**	500
* Luftschicht nicht ruhend	**0.03**		**94**	0.025	**1005**	1
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**0.10**	0.035	**6**	0.120	**2340**	500
* Luftschicht nicht ruhend	**0.03**		**94**	0.025	**1005**	1
Dachauflegebahn PE, diffusionsoffen	**0.03**	0.001	**100**	0.500	**1260**	980
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**1.20**	0.024	**100**	0.120	**2340**	500
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**1.60**	0.40	**8**	0.120	**2340**	500
Baustrohballen	**1.10**		**92**	0.049	**2000**	110
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**1.00**	0.02	**100**	0.120	**2340**	500
Baupapier	**0.59**	0.001	**100**	0.170	**170**	500
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, technisch getrocknet	**0.25**	0.052	**10**	0.120	**2340**	500
Flachs ohne Stützgitter	**0.05**		**90**	0.050	**612**	20
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**1.20**	0.024	**100**	0.120	**2340**	500
Innen						
* geht nicht in die U-Wert Berechnung ein	**Gesamt**	**0.622**		**U-Wert in W/m².K**		**0.105**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	136	**154**	196

Bemerkungen:



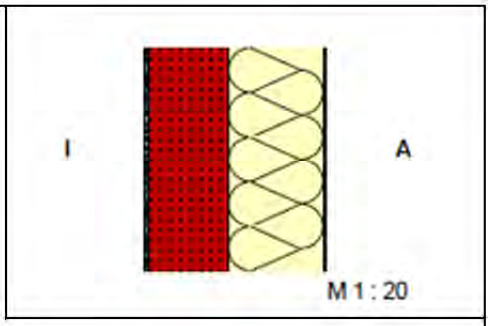
Sortenreine Trennung möglich. Mit Ausnahme des Baupapiers und der PE-Folie können alle Materialien wiederverwendet werden. Alle Holzbaustoffe und Dämmmaterialien können kompostiert werden. Mit Ausnahme der Dachziegel können alle Baustoffe thermisch verwertet werden. Der Großteil der Materialien kann regional produziert werden. Durchschnittliche Nutzungsdauer. Kennzahlen im Vergleich: Bei diesem Aufbau wird am wenigsten Energie benötigt und am meisten CO2 gespeichert.

GWP [kgCO2eq/m²]	-121,89
AP [kgSO2eq/m²]	0,213926
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	526,44
Produktrecycling	●
Kompostierbarkeit	●
Materialrecycling	●
Thermische Verwertung	●
Deponierung	●
Rückbau Gesamt	●
Regionalität	●
Nutzungsdauer	●

AW1 - Hochlochziegel-EPS						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Kalk-Zementputz	**0.38**	0.015	**100**	1.000	**1116**	1800
Ziegel - Hochlochziegel 800 kg/m³	**1.88**	0.250	**100**	0.415	**1000**	800
Polystyrol EPS F (f. Fassaden)	**12.00**	0.300	**100**	0.040	**1400**	18
Silikatputz armiert	**0.15**	0.005	**100**	0.800	**800**	1800
Aussen						
	Gesamt	**0.570**		**U-Wert in W/m².K**		**0.121**

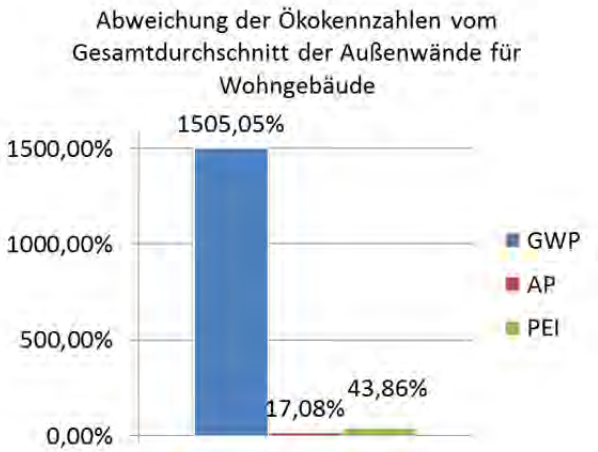
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	127	**151**	181

Bemerkungen:



Massiver Aufbau. Keine sortenreine Trennung möglich.
Eine Wiederverwendung der Baustoffe ist nicht möglich.
Ein Downcycling einiger Materialien ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Keine thermische Verwertung möglich.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Lange Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Die Menge an CO2, die freigesetzt wird, ist bei diesem Aufbau am größten.

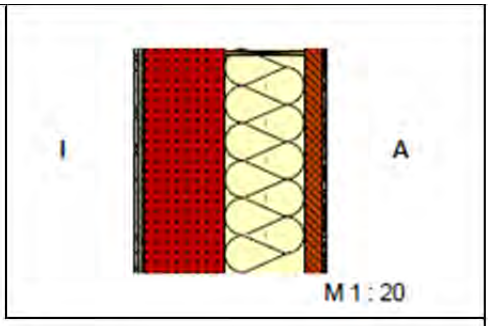
GWP [kgCO2eq/m²]	97,32
AP [kgSO2eq/m²]	0,276942
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1093,46
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



AW2 - Hochlochziegel-Hanf						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Kalk-Zementputz	0.38	0.015	100	1.000	1116	1800
Schilfrohrplatte (Drahtgebunden)	0.02	0.020	100	0.056	1200	140
Ziegel - Hochlochziegel 1200 kg/m³	2.00	0.250	100	0.380	920	1200
Holzstegträger (B60 cm x H240 cm) (Hartfaserplatten+technisch getrocknetes Nadelholz)	0.32	0.250	3	0.122	2340	525
Hanfdämmplatte mit Stützfasern	0.49		98	0.040	1550	30
Holzfaserplatte porös 250 kg/m3	0.30	0.060	100	0.050	2000	250
Kalkputz	0.15	0.010	100	0.885	936	1400
Aussen						
	Gesamt	0.605		U-Wert in W/m².K		0.117

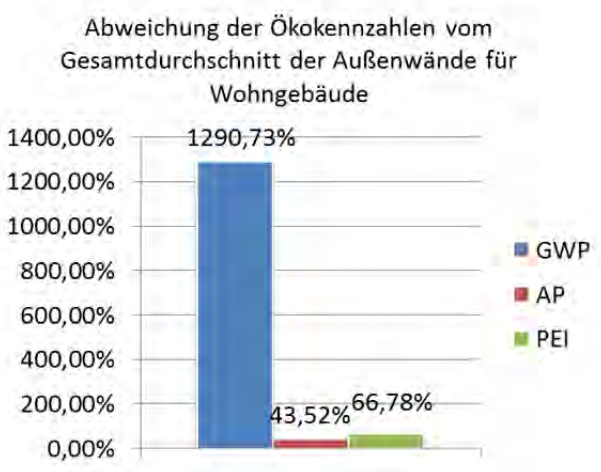
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	187	213	252

Bemerkungen:



Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Der Holzstegträger und die Hanfdämmplatte können wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Die Hanf-Dämmplatte kann kompostiert werden.
Der Holzstegträger und die Hanfdämmplatte können thermisch verwertet werden.
Die Holzbaustoffe und Dämmplatten können regional produziert werden.
Lange Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Für diesen Aufbau wird am meisten Energie benötigt. Jedoch wird wegen dem höheren Anteil an natürlichen Baustoffen weniger CO2 freigesetzt als bei der Variante AW1.

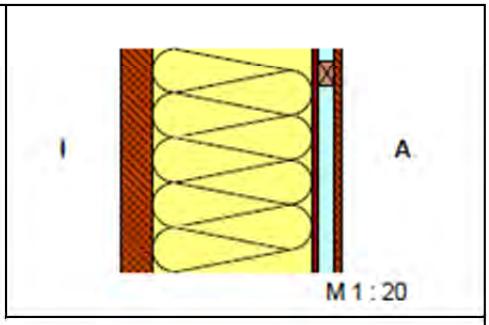
GWP [kgCO2eq/m²]	84,33
AP [kgSO2eq/m²]	0,339491
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1267,68
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



AW3 - Holz-Stroh (S-House)						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Kreuzlagenholz	**15.00**	0.100	**100**	0.130	**1700**	500
Baustrohballen	**1.50**	0.500	**100**	0.049	**2000**	110
Lehmputz	**0.20**	0.020	**100**	0.730	**936**	1600
* Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	**0.36**	0.050	**15**	0.120	**2340**	500
* Luftschicht nicht ruhend	**0.04**		**86**	0.050	**1000**	1
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**1.15**	0.023	**100**	0.120	**2340**	500
Aussen						
*** geht nicht in die U-Wert Berechnung ein**	**Gesamt**	**0.693**		**U-Wert in W/m².K**		**0.090**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	203	**234**	266

Bemerkungen:



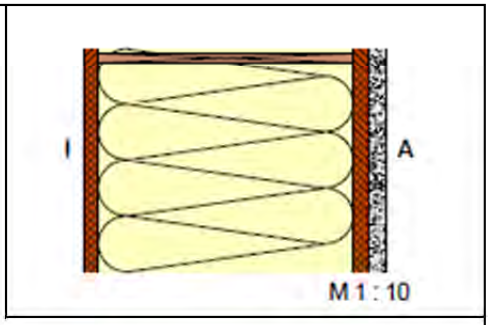
Sortenreine Trennung möglich.
Alle Materialien können wiederverwendet werden.
Bis auf die verleimten Holzbaustoffe können alle Materialien kompostiert werden.
Mit Ausnahme vom Lehmputz können alle Materialien thermisch verwertet werden.
Der Großteil der Materialien kann regional produziert werden.
Lange Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Der Energiebedarf für diesen Aufbau ist im am geringsten.
Gleichzeitig wird auch die größte Menge an CO2 gebunden.

GWP [kgCO2eq/m²]	-97,90
AP [kgSO2eq/m²]	0,155526
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	329,16
Produktrecycling	●
Kompostierbarkeit	●
Materialrecycling	●
Thermische Verwertung	●
Deponierung	●
Rückbau Gesamt	●
Regionalität	●
Nutzungsdauer	●

AW4 - Holz-Stroh						GZH EFH RH MFH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
OSB-Platte	**5.52**	0.023	**100**	0.130	**2340**	610
Holzstegträger (B60 cm x H240 cm) (Hartfaserplatten+technisch getrocknetes Nadelholz)	**0.51**	0.400	**3**	0.122	**2340**	525
Baustrohballen	**1.17**		**98**	0.049	**2000**	110
Holzfaserplatte porös 250 kg/m3	**0.11**	0.022	**100**	0.050	**2000**	250
Kalkputz	**0.45**	0.030	**100**	0.885	**936**	1400
Aussen						
	Gesamt	**0.475**		**U-Wert in W/m².K**		**0.113**

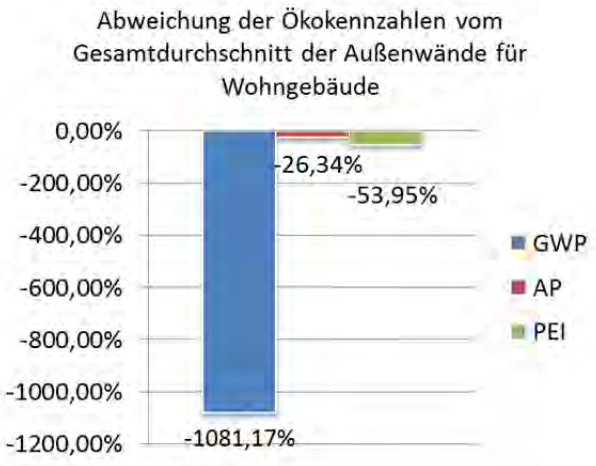
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	112	**126**	155

Bemerkungen:



Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Die OSB- Platte, der Holzstegträger und die Baustrohballen können wiederverwendet werden.
Die Baustrohballen können kompostiert werden.
Die OSB-Platte, der Holzstegträger und die Baustrohballen können thermisch verwertet werden.
Mit Ausnahme vom Kalkputz können alle Materialien regional produziert werden.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Der Energiebedarf für diesen Aufbau ist sehr gering und für die Herstellung wird mehr CO2 gebunden als freigesetzt.

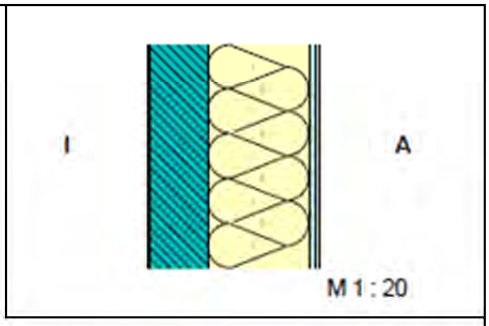
GWP [kgCO2eq/m²]	-59,49
AP [kgSO2eq/m²]	0,174234
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	350,03
Produktrecycling	●
Kompostierbarkeit	●
Materialrecycling	●
Thermische Verwertung	●
Deponierung	●
Rückbau Gesamt	●
Regionalität	●
Nutzungsdauer	●



AW5 - STB-Steinwolle-Alu						Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Spachtel - Gipsspachtel	**0.03**	0.003	**100**	0.800	**900**	1300
Stahlbeton	**16.20**	0.180	**100**	2.330	**1116**	2400
Steinwolle Klemmfilz	**0.32**	0.320	**100**	0.040	**1030**	31
Baupapier	**0.59**	0.0002	**100**	0.170	**170**	500
* Aluminiumblech	**0.36**	0.024	**0**	215.000	**898**	2700
* Luftschicht nicht ruhend	**0.02**		**100**	0.025	**1000**	1
* Aluminiumblech	**> 1500**	0.008	**100**	215.000	**898**	2700
Aussen						
*** geht nicht in die U-Wert Berechnung ein**	**Gesamt**	**0.535**		**U-Wert in W/m².K**		**0.120**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	148	**175**	215

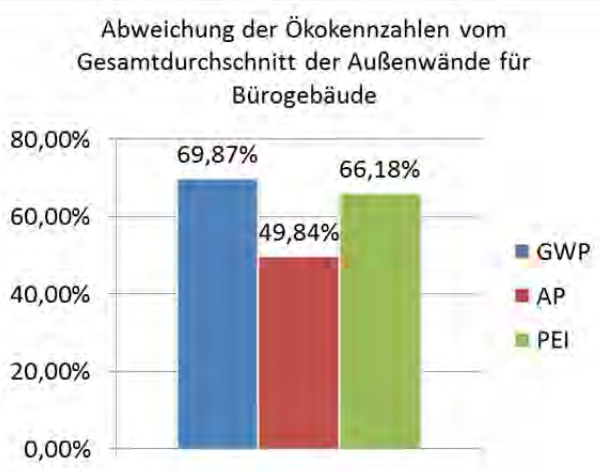
Bemerkungen:
Kennzahlen im Vergleich: Höherer U-Wert, als die vorherigen Aufbauten.



Massiver Aufbau. Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Die Steinwolle und das Aluminiumblech können wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Keine thermische Verwertung möglich.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.

Für diesen Aufbau ist der Energiebedarf mit Abstand am höchsten und es wird am meisten CO2 frei gesetzt

GWP [kgCO2eq/m²]	284,57
AP [kgSO2eq/m²]	1,217514
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	4041,85
Produktrecycling	🔴
Kompostierbarkeit	🔴
Materialrecycling	🔴
Thermische Verwertung	🔴
Deponierung	🔴
Rückbau Gesamt	🔴
Regionalität	🔴
Nutzungsdauer	🟡



AW6 - Schüco Passivhausfassade						Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Schüco Passivhausfassade	∞	0.060	100	0.700	282	834
Aussen						
	Gesamt	0.060		U-Wert in W/m².K		0.850

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	400	450	500

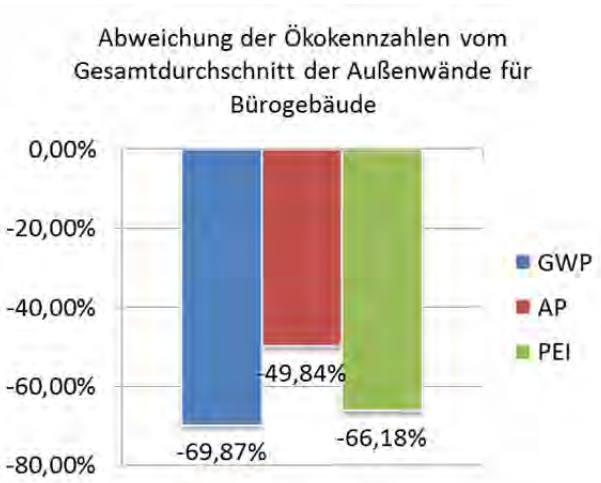
Bemerkungen:
Höhere U-Werte im Vergleich zu den vorherigen Aufbauten.
Die höheren U-Werte ergeben sich aus den großen Rahmenanteilen und den Abstandhaltern.

Quelle: Schüco

Sortenreine Trennung der Materialien möglich.
Die Rahmenkonstruktion kann wiederverwendet werden.
Vom Glas kann nur 50 % wiederverwertet werden.
Keine kompostierbaren Materialien.
Keine thermische Verwertung möglich.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Kurze Nutzungsdauer.

Der Energiebedarf ist bei diesen Aufbau deutlich geringer und auch die freigesetzte Menge an CO2 ist weniger.

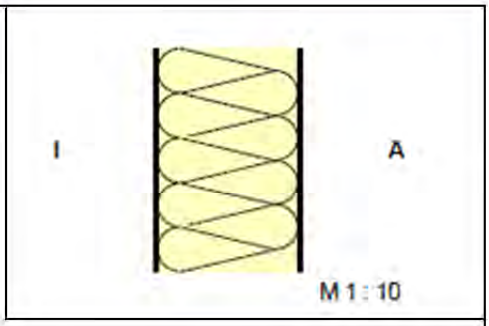
GWP [kgCO2eq/m²]	50,47
AP [kgSO2eq/m²]	0,407571
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	822,51
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



AW7 - Schnellbaudämmpaneel						WIFT
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Stahlblech, verzinkt	> 1500	0.001	100	54.000	500	7800
Steinwolle Klemmfilz	0.22	0.219	100	0.040	1030	31
Stahlblech, verzinkt	> 1500	0.001	100	54.000	500	7800
Aussen						
	Gesamt	0.220		U-Wert in W/m².K		0.175

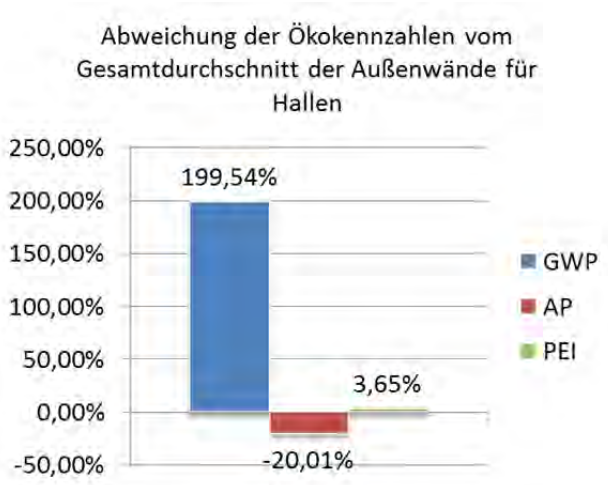
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	69	118	166

Bemerkungen:



Es ist zu beachten, dass die Dämmpaneele nicht das Haupttragwerk bilden. Das Haupttragwerk ist nicht in diesen Berechnungen inkludiert.
Trennung nur nach vollständiger Demontage des Elementes möglich. Sortenreine Trennung möglich.
Alle Materialien können wiederverwendet werden.
Keine kompostierbaren Materialien.
Keine thermische Verwertung möglich.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Kurze Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Bei diesem Aufbau wird auch ohne die Tragkonstruktion die größte Menge an CO2 freigesetzt.

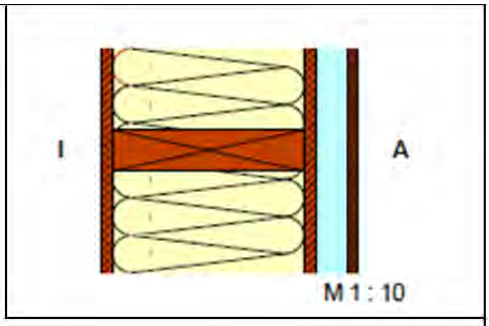
GWP [kgCO2eq/m²]	31,25
AP [kgSO2eq/m²]	0,153561
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	476,33
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



AW8 - Hallenwand Holz-Mineralwolle						WIFT
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
OSB-Platte	4.32	0.018	100	0.130	2340	610
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	1.11	0.300	7	0.120	2340	500
Glaswolle MW-W Dämmfilz	0.28		93	0.040	1030	20
OSB-Platte	4.32	0.018	100	0.130	2340	610
* Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. Getrocknet	0.25	0.050	10	0.120	2340	500
* Luftschicht nicht ruhend	0.05		90	0.050	1000	1
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	0.75	0.015	100	0.120	2340	500
Aussen						
	Gesamt	0.401		U-Wert in W/m².K		0.116

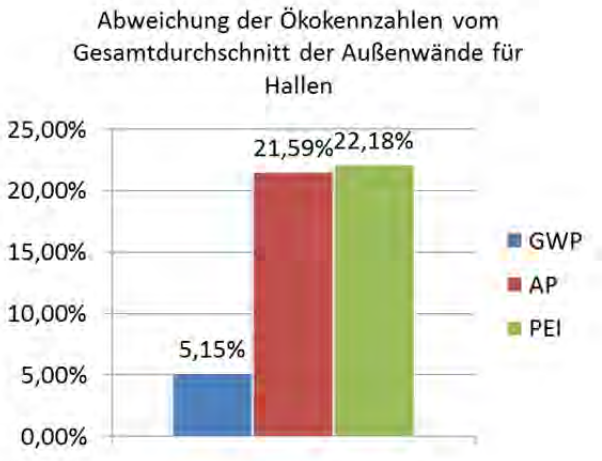
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	105	150	195

Bemerkungen:



Sortenreine Trennung möglich.
Alle Materialien können wiederverwertet werden.
Alle leimfreien Holzbaustoffe können kompostiert werden.
Mit Ausnahme der Glaswolle können alle Baustoffe thermisch verwertet werden.
Der Großteil der Materialien kann regional produziert werden.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Obwohl bei diesem Aufbau mehr CO2 gebunden als freigesetzt wird, ist der Energiebedarf ist für diesen Aufbau am höchsten.

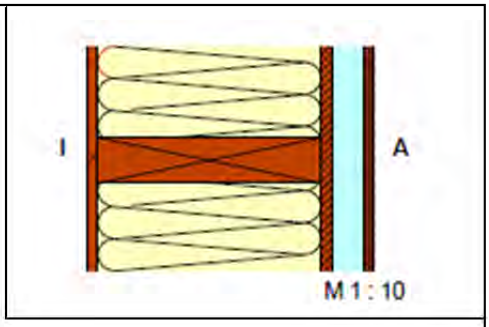
GWP [kgCO2eq/m²]	-29,78
AP [kgSO2eq/m²]	0,233424
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	561,49
Produktrecycling	●
Kompostierbarkeit	●
Materialrecycling	●
Thermische Verwertung	●
Deponierung	●
Rückbau Gesamt	●
Regionalität	●
Nutzungsdauer	●



AW9 - Hallenwand Holz-Stroh						WIFT
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	**m**	m	**%**	W/mK	**J/kgK**	kg/m³
OSB-Platte	**4.32**	0.018	**100**	0.130	**2340**	610
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	**1.73**	0.350	**10**	0.120	**2340**	500
Baustrohballen	**0.95**		**90**	0.049	**2000**	110
OSB-Platte	**4.32**	0.018	**100**	0.130	**2340**	610
* Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. Getrocknet	**0.25**	0.050	**10**	0.120	**2340**	500
* Luftschicht ruhend 50 mm	**0.05**		**90**	0.050	**1000**	1
* Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	**0.75**	0.015	**100**	0.120	**2340**	500
Aussen						
	Gesamt	**0.451**		**U-Wert in W/m².K**		**0.121**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	119	**163**	204

Bemerkungen:



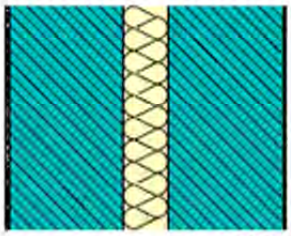
Sortenreine Trennung möglich.
Alle Materialien können wiederverwertet werden.
Alle leimfreien Holbaustoffe und die Baustrohballen können kompostiert werden.
Alle Materialien können thermisch verwertet werden.
Alle Materialien können regional produziert werden.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Der Energiebedarf ist für diesen Aufbau am geringsten. Gleichzeitig wird die größte Menge an CO2 gebunden.

GWP [kgCO2eq/m²]	-95,65
AP [kgSO2eq/m²]	0,188963
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	340,85
Produktrecycling	●
Kompostierbarkeit	●
Materialrecycling	●
Thermische Verwertung	●
Deponierung	●
Rückbau Gesamt	●
Regionalität	●
Nutzungsdauer	●

IW1 - Stahlbeton Trennwand						RH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Spachtel - Gipsspachtel	0.03	0.003	100	0.800	900	1300
Stahlbeton	16.20	0.180	100	2.330	1116	2400
Steinwolle Klemmfilz	0.07	0.070	100	0.040	1030	31
Stahlbeton	16.20	0.180	100	2.330	1116	2400
Spachtel - Gipsspachtel	0.03	0.003	100	0.800	900	1300
Aussen						
	Gesamt	0.436		U-Wert in W/m².K		0.475

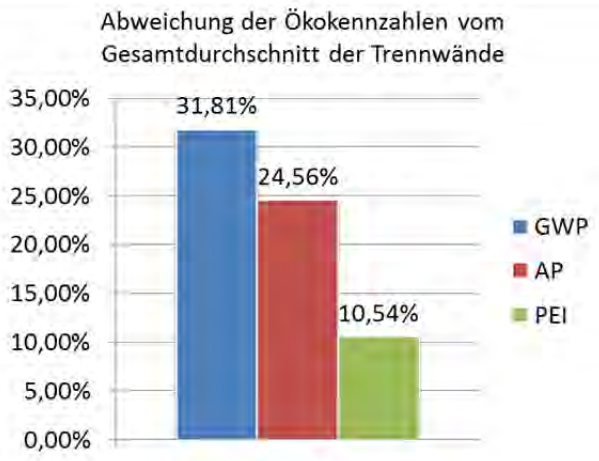
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	133	152	169

Bemerkungen:



Massiver Aufbau. Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Die Steinwolle kann wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Keine thermische Verwertung möglich.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Lange Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Der Energiebedarf ist höher und bei der Herstellung wird mehr CO2 freigesetzt.

GWP [kgCO2eq/m²]	159,43
AP [kgSO2eq/m²]	0,440540
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1339,93
Produktrecycling	●
Kompostierbarkeit	●
Materialrecycling	●
Thermische Verwertung	●
Deponierung	●
Rückbau Gesamt	●
Regionalität	●
Nutzungsdauer	●



W2 - Ziegel Trennwand						RH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Kalkputz	0.23	0.015	100	0.885	936	1400
Ziegel - Hochlochziegel 800 kg/m³	1.88	0.250	100	0.415	1000	800
Steinwolle Klemmfilz	0.07	0.070	100	0.040	1030	31
Ziegel - Hochlochziegel 800 kg/m³	1.88	0.250	100	0.415	1000	800
Kalkputz	0.23	0.015	100	0.885	936	1400
Aussen						
	Gesamt	0.600		U-Wert in W/m².K		0.314

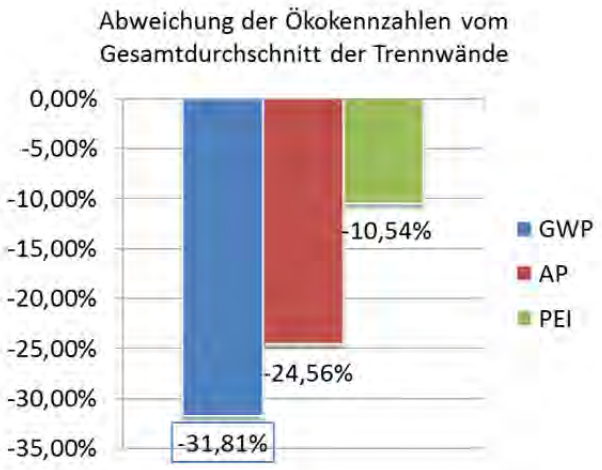
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	156	179	208

Bemerkungen:

M 1 : 20

Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Die Steinwolle kann wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Keine thermische Verwertung möglich.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Lange Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Der Energiebedarf ist geringer und es wird weniger CO2 freigesetzt.

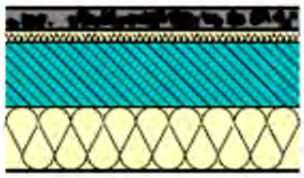
GWP [kgCO2eq/m²]	82,48
AP [kgSO2eq/m²]	0,266823
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1084,31
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



UGD Keller 1						MFH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Fertigparkett	**0.50**	0.010	**100**	0.150	**2340**	740
Zementestrich	**3.00**	0.060	**100**	1.700	**1116**	2000
PE-Folie	**20.00**	0.000	**100**	0.500	**1260**	980
Polystirol, expandiert (EPS) Trittschalldämmung	**0.80**	0.040	**100**	0.044	**1500**	10
Stahlbeton	**18.00**	0.200	**100**	2.330	**1116**	2400
Polystirol EPS30	**14.00**	0.200	**100**	0.035	**1400**	30
Spachtel - Gipsspachtel	**0.03**	0.003	**100**	0.800	**900**	1300
unkonditioniert						
	Gesamt	**0.513**		**U-Wert in W/m².K**		**0.143**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	183	**218**	273

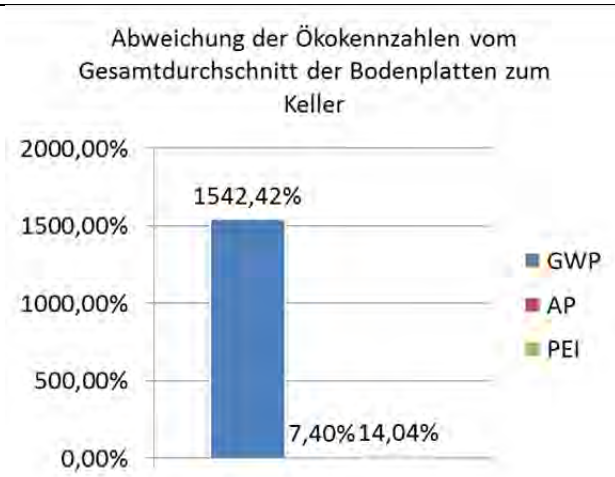
Bemerkungen:



M 1 : 20

Massiver Aufbau. Fast keine sortenreine Trennung möglich.
EPS kann wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Die Holzbaustoffe und das EPS können thermisch verwertet werden.
Sehr geringer Anteil an regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Bei der Herstellung wird am meisten CO2 freigesetzt

GWP [kgCO2eq/m²]	127,09
AP [kgSO2eq/m²]	0,464578
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1654,90
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



UGD Keller 2						MFH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Fertigparkett	**0.50**	0.010	**100**	0.150	**2340**	740
Zementestrich	**2.50**	0.050	**100**	1.700	**1116**	2000
Baupapier unter Estrich/Beton	**0.90**	0.001	**100**	0.170	**2000**	500
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	**0.18**	0.035	**100**	0.048	**2340**	160
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	**0.15**	0.030	**100**	0.048	**2340**	160
Schafwolle - Trittschalldämmung	**0.01**	0.005	**100**	0.035	**1800**	90
Hanf-Lehmschüttung	**0.16**	0.070	**100**	0.066	**1457**	265
Ziegelhohlkörper ohne Aufbeton	**1.60**	0.200	**100**	0.670	**920**	1135
Schilfrohrplatte (Drahtgebunden)	**0.20**	0.200	**100**	0.056	**1200**	140
Kalkputz	**0.45**	0.030	**100**	0.885	**936**	1400
unkonditioniert						
	Gesamt	**0.631**		**U-Wert in W/m².K**		**0.149**

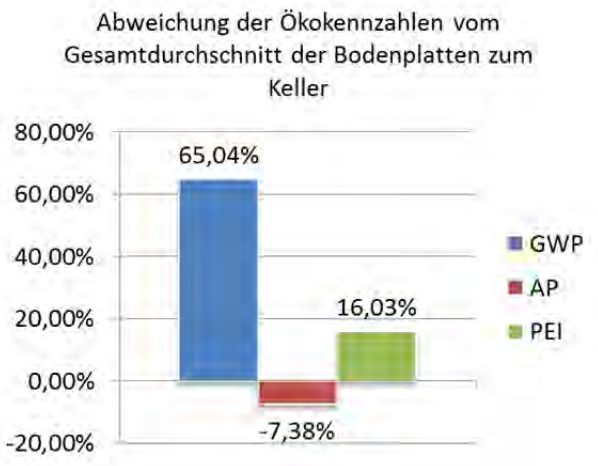
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	248	**283**	340

Bemerkungen:

M 1 : 20

Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Die Schafwolle, die Hanf-Lehmschüttung sowie die Holzfaserplatten können wiederverwendet werden und sind kompostierbar. Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Die Holzbaustoffe, die Hanf-Lehmschüttung sowie die Schafwolle können thermisch verwertet werden.
Geringer Anteil an regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Obwohl deutlich weniger CO2 frei gesetzt wird als bei der Variante UGD Keller1, ist der Energiebedarf für diesen Aufbau am höchsten.

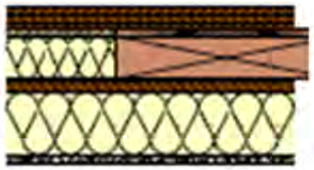
GWP [kgCO2eq/m²]	12,77
AP [kgSO2eq/m²]	0,400655
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1683,77
Produktrecycling	🔴
Kompostierbarkeit	🔴
Materialrecycling	🟡
Thermische Verwertung	🔴
Deponierung	🟡
Rückbau Gesamt	🔴
Regionalität	🔴
Nutzungsdauer	🟡



UGD Keller 3						MFH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Holzdielenboden	**1.50**	0.030	**100**	0.130	**2000**	630
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	**0.15**	0.030	**100**	0.048	**2340**	160
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	**0.08**	0.015	**100**	0.048	**2340**	160
Brettschichtholz Standard	**0.56**	0.024	**47**	0.120	**2340**	450
Zellulosefaserplatten	**0.01**		**53**	0.040	**1800**	50
Brettschichtholz Standard	**3.15**	0.135	**47**	0.120	**2340**	450
Zellulosefaserplatten	**0.07**		**53**	0.040	**1800**	50
Schafwolle - Trittschalldämmung	**0.01**	0.005	**100**	0.035	**1800**	90
Brettschichtholz Standard	**1.95**	0.039	**100**	0.120	**2340**	450
Schilfrohrplatte (Drahtgebunden)	**0.20**	0.200	**100**	0.056	**1200**	140
Kalkputz	**0.45**	0.030	**100**	0.885	**936**	1400
unkonditioniert						
	Gesamt	**0.508**		**U-Wert in W/m².K**		**0.123**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	278	**334**	415

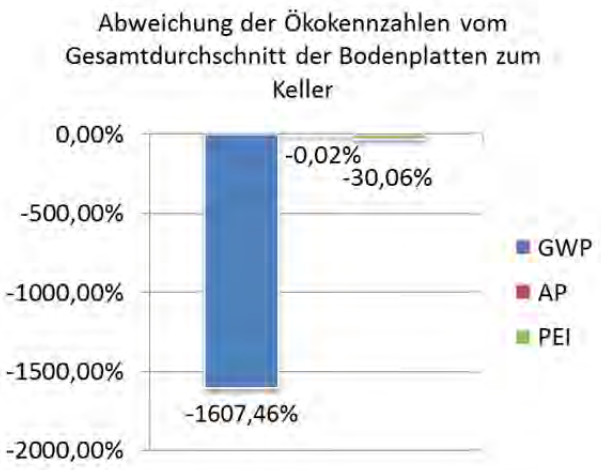
Bemerkungen:



M 1 : 20

Sortenreine Trennung zum Großteil möglich.
Mit Ausnahme der Schilfrohrplatte und dem Kalkputz können alle Materialien wiederverwendet werden. Die Holz- und Zellulosefaserplatten können kompostiert werden.
Mit Ausnahme der Schilfrohrplatte und dem Kalkputz können alle Baustoffe thermisch verwertet werden. Der Großteil der Materialien kann regional produziert werden.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Der Energiebedarf ist für diesen Aufbau am geringsten. Gleichzeitig wird die größte Menge an CO2 gebunden.

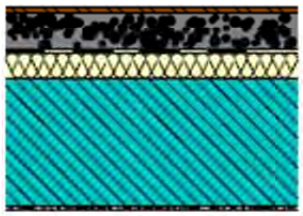
GWP [kgCO2eq/m²]	-116,64
AP [kgSO2eq/m²]	0,432455
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1014,96
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



Trenndecke 1 STB-EPS						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Fertigparkett	**0.50**	0.010	**100**	0.150	**2340**	740
Zementestrich	**3.00**	0.060	**100**	1.700	**1116**	2000
PE-Folie	**20.00**	0.000	**100**	0.500	**1260**	980
Polystirol, expandiert (EPS) Trittschalldämmung	**0.80**	0.040	**100**	0.044	**1500**	10
Stahlbeton	**18.00**	0.200	**100**	2.330	**1116**	2400
Spachtel - Gipsspachtel	**0.03**	0.003	**100**	0.800	**900**	1300
Innen						
	Gesamt	**0.313**		**U-Wert in W/m².K**		**0.735**

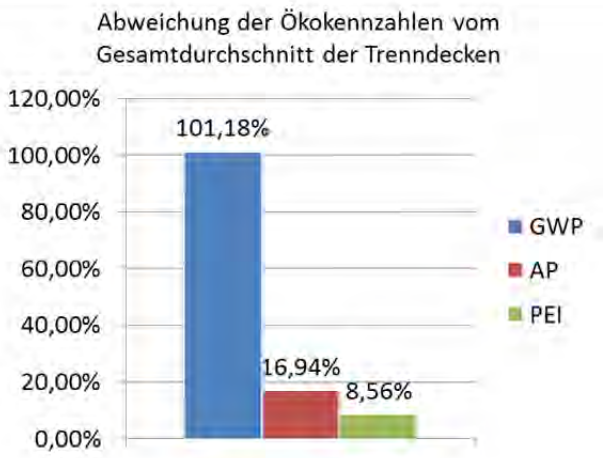
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	150	**178**	228

Bemerkungen:



Massiver Aufbau. Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
EPS kann wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Die Holzbaustoffe und die Trittschalldämmung können thermisch verwertet werden.
Sehr geringer Anteil an regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Die Menge an CO2, die freigesetzt wird, ist bei diesem Aufbau größten.

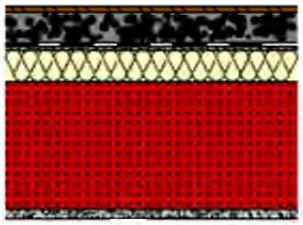
GWP [kgCO2eq/m²]	106,39
AP [kgSO2eq/m²]	0,330778
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1042,90
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



Trenndecke 2 Ziegelhohldecke-Schafwolle						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Fertigparkett	0.50	0.010	100	0.150	2340	740
Zementestrich	2.50	0.050	100	1.700	1116	2000
Baupapier unter Estrich/Beton	0.90	0.001	100	0.170	2000	500
Schafwolle - Trittschalldämmung	0.00	0.004	100	0.035	1800	90
Hanf-Lehmschüttung	0.12	0.050	100	0.066	1457	265
Ziegelhohlkörper ohne Aufbeton	1.60	0.200	100	0.670	920	1135
Kalkputz	0.23	0.015	100	0.885	936	1400
Innen						
	Gesamt	0.330		U-Wert in W/m².K		0.735

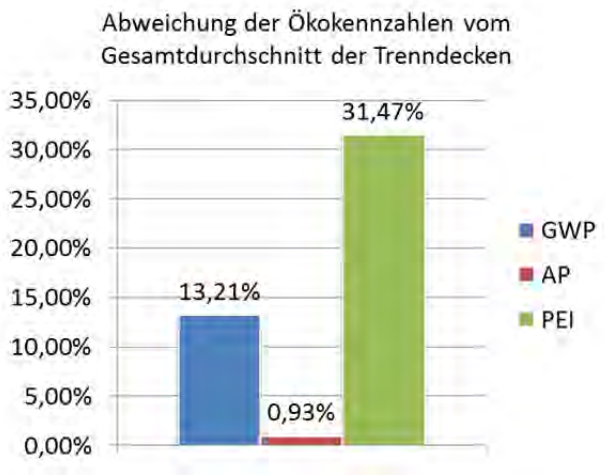
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	213	244	292

Bemerkungen:



Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Die Schafwolle und die Hanf-Lehmschüttung können wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Die Schafwolle und die Hanf-Lehmschüttung können kompostiert werden.
Die Holzbaustoffe, die Trittschalldämmung und die Schüttung können thermisch verwertet werden.
Geringer Anteil an regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Für diesen Aufbau wird am meisten Energie benötigt. Jedoch wird wegen dem höheren Anteil an natürlichen Baustoffen weniger CO2 freigesetzt als bei der STB-EPS-Variante.

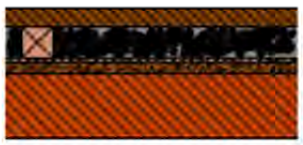
GWP [kgCO2eq/m²]	59,87
AP [kgSO2eq/m²]	0,285490
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1262,99
Produktrecycling	🔴
Kompostierbarkeit	🔴
Materialrecycling	🔴
Thermische Verwertung	🔴
Deponierung	🔴
Rückbau Gesamt	🔴
Regionalität	🔴
Nutzungsdauer	🟡



Trenndecke 3 Holz-Splitt-Schafwolle (S-House)						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Holzdielenboden	1.50	0.030	100	0.130	2000	630
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	0.23	0.050	9	0.120	2340	500
Splitt	0.09		91	0.700	1000	1700
Schafwolle - Trittschalldämmung	0.01	0.005	100	0.035	1800	90
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	0.10	0.020	100	0.048	2340	160
Kreuzlagenholz	15.00	0.100	100	0.130	1700	500
Innen						
	Gesamt	0.205		U-Wert in W/m².K		0.520

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	177	221	274

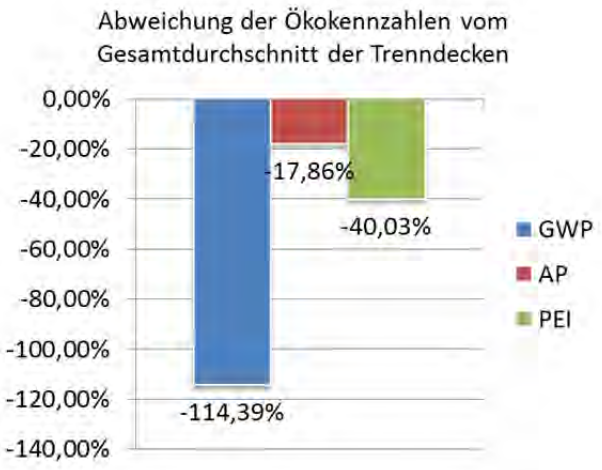
Bemerkungen:



M 1 : 10

Sortenreine Trennung möglich.
Alle Materialien können wiederverwendet werden.
Das Nadelholz, die Holzfaserplatte und die Schafwolle können kompostiert werden.
Mit Ausnahme vom Splitt können alle Baustoffe regional produziert und thermisch verwertet werden.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Für diesen Aufbau wird mit Abstand am wenigsten Energie benötigt und bei der Herstellung mehr CO2 gebunden als freigesetzt.

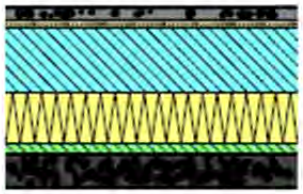
GWP [kgCO2eq/m²]	-7,61
AP [kgSO2eq/m²]	0,232345
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	576,08
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



UGD Erdberührt 1 Beton-Glaswolle						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Fertigparkett	**0.50**	0.010	**100**	0.150	**2340**	740
Zementestrich	**2.50**	0.050	**100**	1.700	**1116**	2000
PE-Folie	**10.00**	0.0001	**100**	0.500	**1260**	980
Glaswolle TDPS 40-70 kg/m3	**0.04**	0.035	**100**	0.035	**1030**	68
WU-Beton	**30.00**	0.300	**100**	2.500	**1116**	2400
PE-Folie	**40.00**	0.0004	**100**	0.500	**1260**	980
Schaumglas 105 kg	**> 1500**	0.240	**100**	0.041	**900**	105
Magerbeton	**2.50**	0.050	**100**	1.330	**1116**	2000
Baupapier unter Estrich/Beton	**0.30**	0.000	**100**	0.170	**2000**	500
Kies	**0.30**	0.150	**100**	0.700	**1000**	1800
Vlies (PP)	**0.00**	0.002	**100**	0.220	**792**	600
Erde						
	Gesamt	**0.838**		**U-Wert in W/m².K**		**0.133**

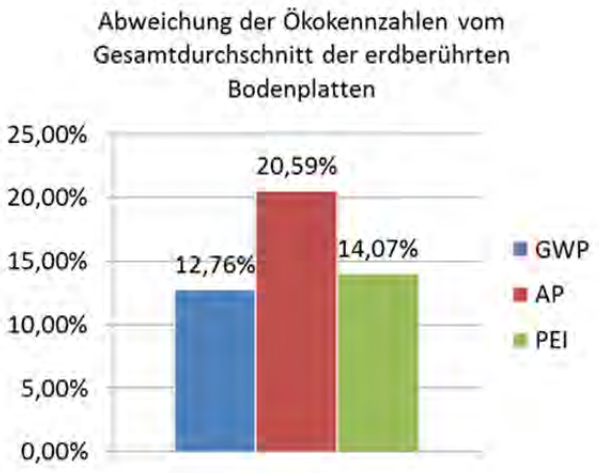
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	189	**237**	326

Bemerkungen:



Sehr massiver Aufbau. Fast keine sortenreine Trennung möglich.
Nur Kies und Glaswolle können wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Nur das Fertigparkett und Vlies können thermisch verwertet werden.
Sehr geringer Anteil an regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Für diesen Aufbau wird am meisten Energie benötigt und am meisten CO2 freigesetzt.

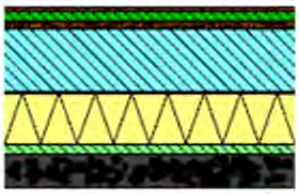
GWP [kgCO2eq/m²]	173,04
AP [kgSO2eq/m²]	0,731844
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1904,03
Produktrecycling	🟡
Kompostierbarkeit	🔴
Materialrecycling	🟡
Thermische Verwertung	🔴
Deponierung	🔴
Rückbau Gesamt	🔴
Regionalität	🔴
Nutzungsdauer	🟡



UGD Erdberührt 2 Beton-Holzfaser						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Fertigparkett	0.50	0.010	100	0.150	2340	740
Zementestrich	2.50	0.050	100	1.700	1116	2000
Baupapier unter Estrich/Beton	0.90	0.001	100	0.170	2000	500
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	0.15	0.030	100	0.048	2340	160
WU-Beton	30.00	0.300	100	2.500	1116	2400
PE-Folie	40.00	0.000	100	0.500	1260	980
Schaumglas 105 kg	> 1500	0.240	100	0.041	900	105
Magerbeton	2.50	0.050	100	1.330	1116	2000
Baupapier unter Estrich/Beton	0.30	0.000	100	0.170	2000	500
Kies	0.30	0.150	100	0.700	1000	1800
Vlies (PP)	0.00	0.002	100	0.220	792	600
Erde						
	Gesamt	0.834		U-Wert in W/m².K		0.140

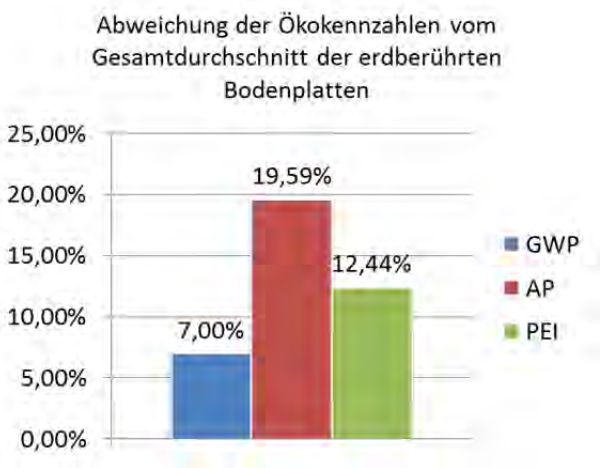
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	197	246	336

Bemerkungen:



Sehr massiver Aufbau. Fast keine sortenreine Trennung möglich.
Nur Kies und die Holzfaerplatte können wiederverwendet werden.
Ein weiterer Baustoffe ist Downcycling möglich.
Holzfaserplatte kann kompostiert werden.
Die Holzbaustoffe und das Vlies können thermisch verwertet werden.
Sehr geringer Anteil an regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Für diesen Aufbau wird viel Energie benötigt und große Mengen an CO2 freigesetzt.

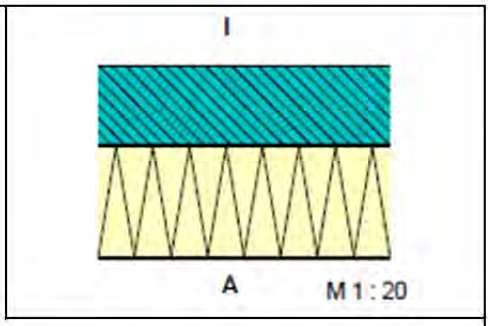
GWP [kgCO2eq/m²]	164,21
AP [kgSO2eq/m²]	0,725759
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1876,74
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



UGD Erdberührt 3 STB-Schaumglasgranulat						WIFT
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Stahlbeton	22.50	0.250	100	2.330	1116	2400
PE-Folie	100.00	0.001	100	0.500	1260	980
Schaumglasgranulat	1.75	0.350	100	0.100	1000	105
Vlies (PP)	0.00	0.002	100	0.220	792	600
Erde						
	Gesamt	0.603		U-Wert in W/m².K		0.265

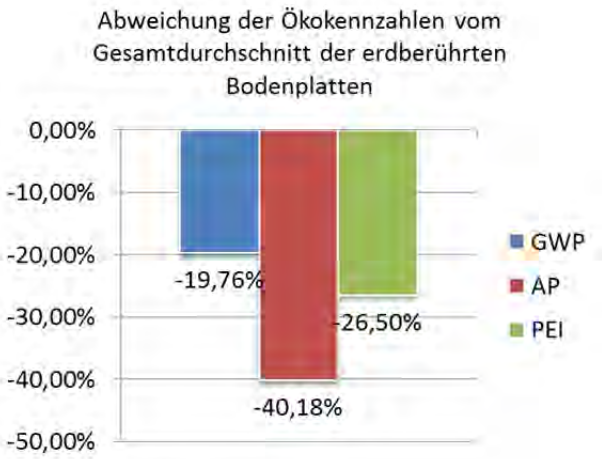
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	74	91	117

Bemerkungen:



Sehr massiver Aufbau. Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Das Schaumglasgranulat kann wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiter Baustoffe ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Nur das Vlies kann thermisch verwertet werden.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Lange Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Dieser Aufbau hat den geringsten Energiebedarf. Gleichzeitig wird am wenigsten CO2 freigesetzt.

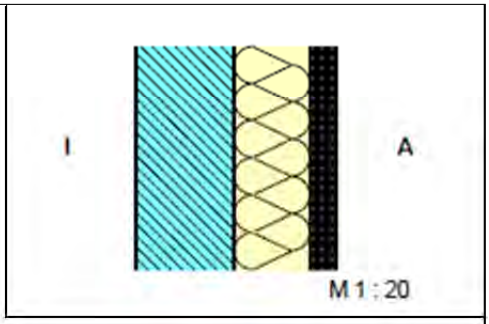
GWP [kgCO2eq/m²]	123,14
AP [kgSO2eq/m²]	0,363023
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1226,76
Produktrecycling	
Kompostierbarkeit	
Materialrecycling	
Thermische Verwertung	
Deponierung	
Rückbau Gesamt	
Regionalität	
Nutzungsdauer	



Kellerwand Erde 1 Beton-XPS						GZH EFH RH MFH
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Spachtel - Gipsspachtel	**0.03**	0.003	**100**	0.800	**900**	1300
WU-Beton	**30.00**	0.300	**100**	2.500	**1116**	2400
Bitumenanstrich	**90.00**	0.002	**100**	0.230	**1260**	1050
Polystirol XPS CO2-geschäumt	**36.00**	0.240	**100**	0.040	**1450**	38
Drainplatte EPS (Bitumierte Drainageplatte)	**5.60**	0.080	**100**	1.000	**1000**	20
Vlies (PP)	**0.00**	0.002	**100**	0.220	**792**	600
Erde						
	Gesamt	**0.627**		**U-Wert in W/m².K**		**0.156**

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	133	**155**	202

Bemerkungen:



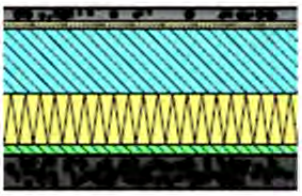
Massiver Aufbau. Sortenreine Trennung zum Teil möglich.
Wiederverwendung der Drainageplatte ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Die Drainageplatte und das Vlies können thermisch verwertet werden.
Keine regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.

GWP [kgCO2eq/m²]	158,64
AP [kgSO2eq/m²]	0,643613
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	2098,77
Produktrecycling	🔴
Kompostierbarkeit	🔴
Materialrecycling	🔴
Thermische Verwertung	🔴
Deponierung	🔴
Rückbau Gesamt	🔴
Regionalität	🔴
Nutzungsdauer	🟡

Kellerboden 1 Beton-Glaswolle						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Fertigparkett	**0.50**	0.010	**100**	0.150	**2340**	740
Zementestrich	**2.50**	0.050	**100**	1.700	**1116**	2000
PE-Folie	**10.00**	0.0001	**100**	0.500	**1260**	980
Glaswolle TDPS 40-70 kg/m3	**0.04**	0.035	**100**	0.035	**1030**	68
WU-Beton	**30.00**	0.300	**100**	2.500	**1116**	2400
PE-Folie	**40.00**	0.0004	**100**	0.500	**1260**	980
Schaumglas 105 kg	**> 1500**	0.240	**100**	0.041	**900**	105
Magerbeton	**2.50**	0.050	**100**	1.330	**1116**	2000
Baupapier unter Estrich/Beton	**0.30**	0.0003	**100**	0.170	**2000**	500
Kies	**0.30**	0.150	**100**	0.700	**1000**	1800
Vlies (PP)	**0.00**	0.002	**100**	0.220	**792**	600
Erde						
	Gesamt	**0.838**		**U-Wert in W/m².K**		**0.133**

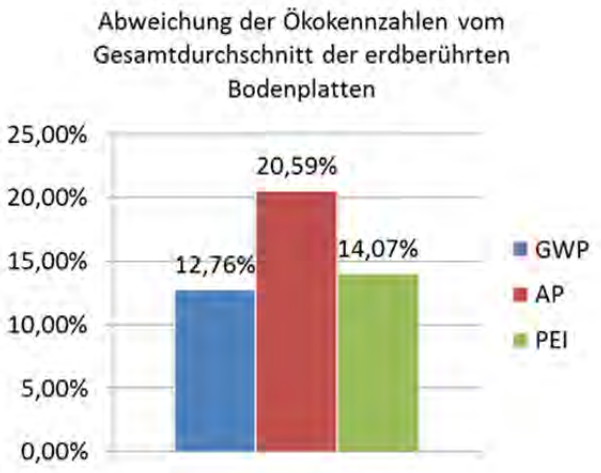
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	189	**237**	326

Bemerkungen:



Massiver Aufbau. Fast keine sortenreine Trennung möglich.
EPS kann wiederverwendet werden.
Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich.
Keine kompostierbaren Materialien.
Die Holzbaustoffe und das EPS können thermisch verwertet werden.
Sehr geringer Anteil an regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Bei der Herstellung wird am meisten CO2 freigesetzt.

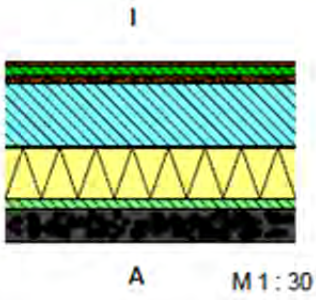
GWP [kgCO2eq/m²]	173,04
AP [kgSO2eq/m²]	0,731844
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1904,03
Produktrecycling	🟡
Kompostierbarkeit	🔴
Materialrecycling	🟡
Thermische Verwertung	🔴
Deponierung	🔴
Rückbau Gesamt	🔴
Regionalität	🔴
Nutzungsdauer	🟡



Kellerboden 2 Beton-Holzfaser						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
Innen	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Fertigparkett	0.50	0.010	100	0.150	2340	740
Zementestrich	2.50	0.050	100	1.700	1116	2000
Baupapier unter Estrich/Beton	0.90	0.001	100	0.170	2000	500
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	0.15	0.030	100	0.048	2340	160
WU-Beton	30.00	0.300	100	2.500	1116	2400
PE-Folie	40.00	0.000	100	0.500	1260	980
Schaumglas 105 kg	> 1500	0.240	100	0.041	900	105
Magerbeton	2.50	0.050	100	1.330	1116	2000
Baupapier unter Estrich/Beton	0.30	0.000	100	0.170	2000	500
Kies	0.30	0.150	100	0.700	1000	1800
Vlies (PP)	0.00	0.002	100	0.220	792	600
Erde						
	Gesamt	0.834		U-Wert in W/m².K		0.140

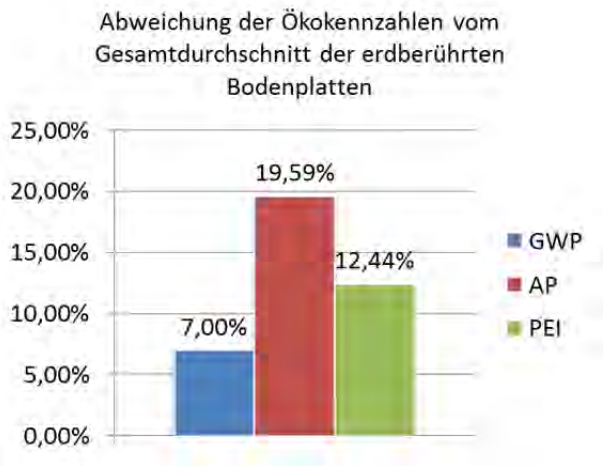
	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	197	246	336

Bemerkungen:



Sortenreine Trennung zum Teil möglich. Die Schafwolle, die Hanf-Lehmschüttung sowie die Holzfaserplatten können wiederverwendet werden und sind kompostierbar. Ein Downcycling weiterer Baustoffe ist möglich. Die Holzbaustoffe, die Hanf-Lehmschüttung sowie die Schafwolle können thermisch verwertet werden. Geringer Anteil an regional produzierbaren Materialien.
Durchschnittliche Nutzungsdauer.
Kennzahlen im Vergleich: Obwohl deutlich weniger CO2 freigesetzt wird als bei der Variante UGD-Keller1, ist der Energiebedarf für diesen Aufbau am höchsten.

GWP [kgCO2eq/m²]	164,21
AP [kgSO2eq/m²]	0,725759
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1876,74
Produktrecycling	●
Kompostierbarkeit	●
Materialrecycling	●
Thermische Verwertung	●
Deponierung	●
Rückbau Gesamt	●
Regionalität	●
Nutzungsdauer	●



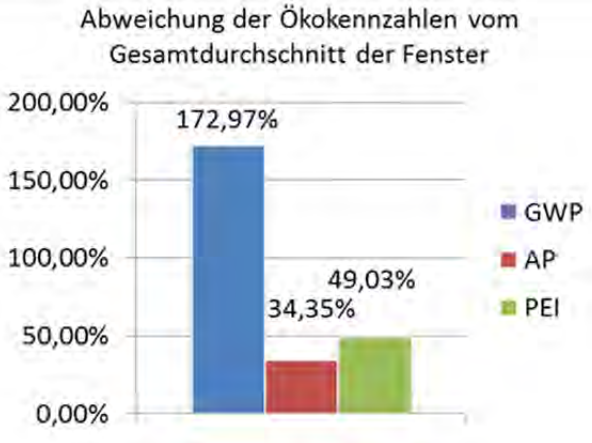
Fenster 1 Kunststoffrahmen						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d	d	Material-anteil	λ	c	ρ
	m	m	%	W/mK	J/kgK	kg/m³
Kunststoff-Rahmen; > = 88 Stockrahmentiefe; Uf=1,15 W/m2K	-	0.088	-	-	-	-
3-fach Wärmeschutzglas: G96; Ug=0,6 W/m2K; 4/14/4/14/4 AR	-	-	-	-	-	-
Abstandhalter Kunststoff/Butyl: Psi 0,034 W/mK (3-IV; Ug < 0,9; Uf < 1,4)	-	-	-	-	-	-
U-Wert für Normfenster: 1.23 x 1,48 m	Gesamt	0.088		U-Wert in W/m².K		0.840

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	381	433	594

Bemerkungen:

Rückbau und Trennung der Bestandteile möglich. Recycling der PVC-Anteile bei absoluter Sortenreinheit möglich, Maximaler Rezyklatanteil in Fensterprofilen 70 %. Für Wiederverwendung in weißen Fensterprofilen muss zusätzlich eine farbliche Reinheit sichergestellt sein. Tatsächlich wird jedoch weniger als 10 % des Alt-PVC rezykliert.
Aufbereitung der Glasreste und Metallanteile aus Altfenstern möglich.
Kennzahlen im Vergleich: Für die Herstellung wird am meisten Energie benötigt sowie am meisten CO2 freigesetzt.

GWP [kgCO2eq/m²]	130,19
AP [kgSO2eq/m²]	1,030000
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	3131,59
Nutzungsdauer [Jahre]	50



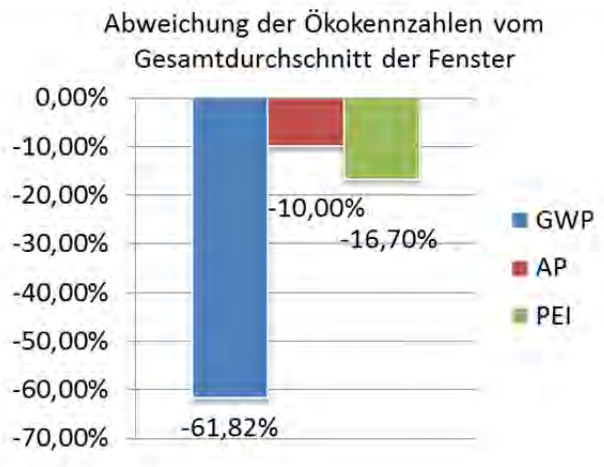
Fenster 2 Holz-Alu-Rahmen						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d m	d m	Material-anteil %	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m³
Holz-Alu-Rahmen Fichte; > = 91 Stockrahmentiefe < 109; Uf=1,05 W/m2K	-	0.091	-	-	-	-
3-fach Wärmeschutzglas: G96; Ug=0,6 W/m2K; 4/14/4/14/4 AR	-	-	-	-	-	-
Abstandhalter Kunststoff/Butyl: Psi 0,034 W/mK (3-IV; Ug < 0,9; Uf < 1,4)	-	-	-	-	-	-
U-Wert für Normfenster: 1.23 x 1,48 m	Gesamt	0.091		U-Wert in W/m².K		0.810

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	737	834	1840

Bemerkungen:

Rückbau und Trennung der Bestandteile möglich.
Die Holzanteile können zerkleinert und thermisch verwertet werden.
Das verbleibende Aluminium kann eingeschmolzen und in Rohlinge gegossen werden.
Die Wiederverwendung in Fenstern ist möglich.

GWP [kgCO2eq/m²]	18,21
AP [kgSO2eq/m²]	0,690000
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1750,36
Nutzungsdauer [Jahre]	50



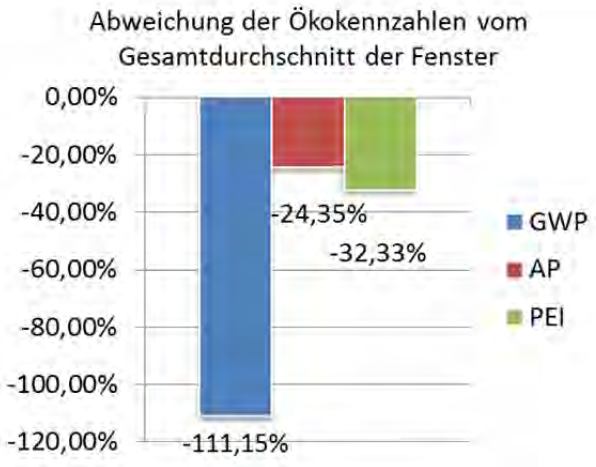
Fenster 3 Holzrahmen						GZH EFH RH MFH Büro
Bezeichnung	s_d m	d m	Material-anteil %	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m³
Holz-Rahmen Fichte; > 91 Stockrahmentiefe < 109; Uf=1,05 W/m2K	-	0.091	-	-	-	-
3-fach Wärmeschutzglas: G96; Ug=0,6 W/m2K; 4/14/4/14/4 AR	-	-	-	-	-	-
Abstandhalter Kunststoff/Butyl: Psi 0,034 W/mK (3-IV; Ug < 0,9; Uf < 1,4)	-	-	-	-	-	-
U-Wert für Normfenster: 1.23 x 1,48 m	Gesamt	0.091		U-Wert in W/m².K		0.810

	Minimal	Mittel	Maximal
Kosten in €/m²	488	580	721

Bemerkungen:

Rückbau und Trennung der Bestandteile möglich.
Holzanteile werden zerkleinert und können thermisch verwertet werden.
Aufbereitung der Glasreste und Metallanteile aus Altfenstern möglich.
Die Nutzungsdauer liegt mit 40 Jahren etwas unter dem Durchschnitt.
Kennzahlen im Vergleich: Holzfenster haben den geringsten Primärenergiebedarf und bei der Herstellung wird mehr CO2 gebunden als freigesetzt.

GWP [kgCO2eq/m²]	-5,32
AP [kgSO2eq/m²]	0,580000
PEI nicht erneuerbar [MJ/m²]	1421,95
Nutzungsdauer [Jahre]	40



6.5. Stromverbrauch und Verbrauchsreduktion

In den letzten Jahrzehnten stieg die Stromnachfrage kontinuierlich an und für die kommenden Jahre und Jahrzehnte ist unter Fortschreibung des Status Quo von einer weiteren Steigerung auszugehen. Anders verhält es sich beim Wärmeenergiebedarf der Gebäude; diese Entwicklung wurde bereits in Kapitel 5.4 erläutert. Da sowohl die Strom- aus auch die Wärmebereitstellung basierend auf fossilen Energieträgern Treibhausgase emittiert und damit das Klima beeinflusst, ist die Einbindung regenerativer Energiequellen eine Lösung hin zu einem nachhaltigen Energiesystem. Andererseits sind erneuerbare Energiequellen volatil und nicht überall verfügbar. Deshalb sind Maßnahmen sinnvoll, die erstens den Verbrauch reduzieren und zweitens Verbrauch und Erzeugung einander angleichen. Solche Maßnahmen werden im Folgenden für die Modellgebäude (vgl. Kapitel 5.2) näher erläutert.

Einleitend wird die Möglichkeit der Substitution elektrischer Energie durch thermische Energie erläutert. Es folgt ein Überblick über Energieanforderung und -verteilung und davon ausgehend eine Berechnung des Energie- und Leistungsbedarfs für die Modellgebäude Haushalt, Büro und Fabrikshalle. Um die potenziellen Einsparungen elektrischer Energie zu bestimmen, wurde die Geräteausstattung von Wohn- und Bürogebäuden bestimmt und für die Fabrikshalle auf ein gemessenes Lastprofil zurückgegriffen.

6.5.1. Der Thermoölkreislauf

Im Bereich erneuerbarer Energien richten sich die meisten Forschungsanstrengungen derzeit auf die Verbesserung der Effizienz und Rentabilität der Stromproduktion. Mit verschiedenen Technologien wird versucht, möglichst effizient thermische Energie unter hohen Energieverlusten zu elektrischer Energie umzuwandeln, manchmal nur, um diese anschließend unter erneuten Umwandlungsverlusten für thermische Anwendungen zu nutzen. Dabei liegt das höchste Effizienzpotential in der Vermeidung von Umwandlungsverlusten. Bei einer Betrachtung der größten Stromverbraucher im Haushalt wird ersichtlich, dass diese im eigentlichen Sinne nicht ausschließlich Strom benötigen, sondern vielmehr thermische Anwendungen sind, welche Kälte oder Wärme benötigen.

Durch eine gezielte Optimierung der Verbraucherseite kann ein substantielles Energieeinsparungspotential erschlossen werden. Eine Möglichkeit dafür ist das Konzept eines Thermoölkreislaufes, bei dem der elektrische Strom konsequent durch thermische Energie substituiert wird.

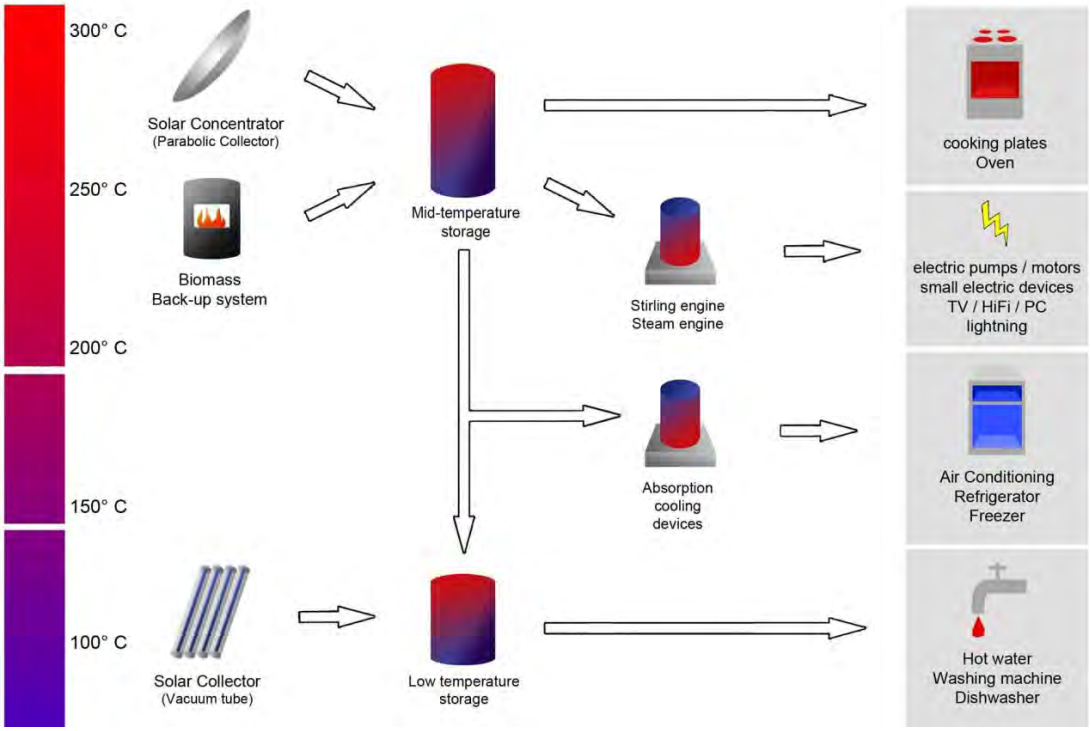


Abbildung 63: Gesamtsystem „Energieautarkes Haus“ („Wireless House“) – Überblick über die Zusammenhänge der verschiedenen Komponenten nach Temperaturniveaus und thermischem und elektrischem Betrieb [Wimmer et al., 2009]

Es handelt sich dabei um ein System, das alle thermischen Verbraucher wie beispielsweise Backofen, Herdplatten oder Waschmaschinen mit der benötigten Wärmeenergie versorgt. Die thermische Energie wird dabei direkt ohne Umwandlungsverluste für die Energiedienstleistungen bereitgestellt. Der verbleibende Bedarf an elektrischer Energie (z. B. für Beleuchtung) kann in diesem System z.B. in Kombination mit einem Stirlingmotor oder einem Organic Rankine Cycle zur Verfügung gestellt werden.

Das Hauptziel ist die größtmögliche Abdeckung der Energiedienstleistungen durch thermische Energie. Diese soll wiederum primär durch lokal verfügbare Energieträger bereitgestellt werden, wie z.B. durch die Verwendung eines Solarkonzentrators mit einem einfachen Nachführungssystem. Sekundär kann z.B. ein auf Biomasse basierendes Backup-System zur Anwendung kommen, welches die kontinuierliche thermische Versorgung in Zeiten mangelnder Solarerträge garantiert.

Bei diesem Konzept des energieautarken Gebäudes ist die Sichtweise nicht auf eine bestimmte Art der Energieumwandlung (z.B.: Produktion von elektrischem Strom) gerichtet, sondern es geht primär darum, die tatsächlich nachgefragten Energiedienstleistungen mit der am besten geeigneten, also der effizientesten Technologie bereitzustellen. Die Energieversorgung richtet sich dabei nach dem tatsächlichen Bedarf.

6.5.1.1. Komponenten eines Thermoölkreislaufs

Ein Thermoölkreislauf kann in die drei Bereiche Leitungssystem, Speicher und Wärmeträgermedium aufgeteilt werden, wobei die Beschreibung des Wärmeträgermediums in Abhängigkeit vom Temperaturniveau im folgenden Kapitel zu finden ist.

- **Leitungssystem**
  Die Leitungen an sich können z.B. aus geschweißten Stahlrohren bestehen. Abhängig von der Betriebstemperatur ist eine entsprechende Isolierung notwendig, da bei höherer Temperatur des Wärmeträgers auch die Leitungswärmeverluste entsprechend höher sind. Aus diesem Grund sollte der Wärmeerzeuger immer möglichst nah am Speicher bzw. am Ort des Bedarfs liegen, damit die Leitungswege möglichst kurz gehalten werden können. Des Weiteren sind eine Umwälzpumpe, ein Sammelgefäß für eine Entleerung bei möglichen Reparaturen sowie ein Ausdehnungsgefäß erforderlich. Letzteres wird aufgrund der Ausdehnung von Thermoöl um ca. 10 % bei 100 °C benötigt. Bei einer Temperatur von 300 °C liegt die Ausdehnung des Wärmeträgers bei ca. 30 %.

- **Speicher**
  Es ist ein charakteristisches Merkmal thermischer Energiespeicher, dass aufgrund stark variierender Anforderungsprofile jeweils spezifische, optimale Lösungen hinsichtlich Effizienz und Wirtschaftlichkeit gefunden werden müssen. Das hat zur Konsequenz, dass es nicht den einen optimalen Wärmespeicher für alle Anwendungen gibt [Tamme, 2005]. Aufgrund der einfacheren Bauart, der drucklosen Betriebsweise, des höheren Entwicklungsstandes und des besseren Wärmetransportes zwischen Speichermedium und Wärmeträgerfluid fällt die Wahl auf einen sensiblen thermischen Speicher [Hafner, 1999]. Somit bietet sich für den Anwendungsfall Thermoölkreislauf ein Zweistoffspeicher mit Steinschüttung an, da so die Vorteile des Thermoöls als Wärmeträger, unter Berücksichtigung der großen Volumenausdehnung bei Temperaturzunahme, genutzt werden können. Dieses wirkt sich wegen dem geringeren Bedarf an Thermoöl auch positiv auf die Kosten des Wärmeträgers aus.
  - Vorteile:
  - Die Volumenszunahme mit der Temperatur wird durch den Feststoff gering gehalten
  - Die Anlage funktioniert mit einfachen Materialien und ist unkompliziert im Bau
  - Der Speicher arbeitet bei Teilbeladung effizient und kann daher z.B. auch mit einer Solaranlage kombiniert werden [Hafner, 1999]

6.5.1.2. Temperaturniveau

Bei einer Betrachtung des Energiebedarfs der einzelnen Energiedienstleistungen wird deutlich, dass jede einem bestimmten Temperaturniveau zuzuordnen ist:

1. ***Warmwasser mit fast 1/3 des Gesamtenergiebedarfes***
   ** Temperaturniveau ca. 40 °C → Niedertemperaturspeicher*
2. ***Waschmaschine, Wäschetrockner, Bügeleisen***
   ** Temperaturniveau ca. 60 °C → Niedertemperaturspeicher*
   ** Restenergiebedarf elektrisch (Motoren, Pumpen)*
3. ***Kühl- und Gefrierschrank***[6]
   ** Temperaturniveau ca. 70 °C → Niedertemperaturspeicher*
4. ***Elektrischer Küchenherd (Backrohr und Herdplatten)***
   ** Temperaturniveau ca. 220 °C → Mitteltemperaturspeicher*
5. ***Licht, Computer, Fernsehen***
   ** elektrischer Energiebedarf*

Je nach Gerät ist eine unterschiedliche Temperatur für einen thermischen Betrieb erforderlich. Diese liegt primär im Niedertemperaturbereich bis 100 °C. Großes Potential für die Substitution von elektrischer durch thermische Energie ist, wie weiter oben beschrieben, beim Backen und Kochen zu finden. Die benötigte Temperatur für diese Anwendungen ist jedoch deutlich höher und liegt mit ca. 220 °C im Mitteltemperaturbereich.
Eine mögliche Versorgung der Energiedienstleistungen ist also abhängig vom Temperaturniveau. Dieses lässt sich für die ermittelten Energiedienstleistungen in zwei Bereiche aufteilen: Thermische Energieströme unter 100 °C befinden sich im Niedertemperaturbereich, und thermische Energieströme über 100 °C befinden sich im Mitteltemperaturbereich.

Bereitstellung im Niedertemperaturbereich

Eine Bereitstellung der benötigten Energieströme im Niedertemperaturbereich unter 100 °C ist unproblematisch, da diese durch jene Komponenten abgedeckt werden, welche üblicherweise bereits in Wohngebäuden zur Warmwasseraufbereitung durch Solaranlagen eingesetzt werden. Das Wärmeträgermedium hierbei ist Wasser, und auch die vorhandene Infrastruktur (Warmwasseranschluss) kann genutzt werden.

[6] Zero CO_2 Cooler – der Kühlschrank mit Warmwasseranschluss, Industrielle Forschung, Neue Energien 2020, FFG-Projekt: 825494

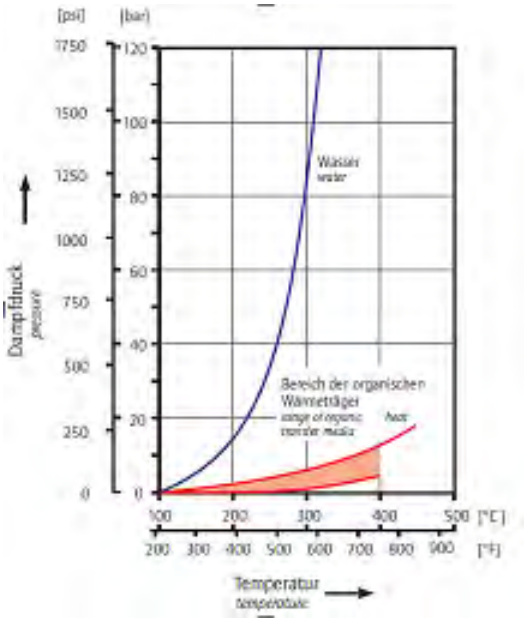


Abbildung 64: Vergleich des Dampfdrucks von Wasser und Öl [HTT, 2011]

Bereitstellung im Mitteltemperaturbereich

Die benötigten Energieströme im Mitteltemperaturbereich für die Anwendung des Backens und Kochens können im Vergleich zum Niedertemperaturbereich nicht mit der bestehenden Infrastruktur in Wohnhäusern zur Verfügung gestellt werden, da Wasser aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften bei einer Temperatur von 220 °C nicht drucklos als Wärmeträgermedium genutzt werden kann.

Eine Alternative ist Thermoöl, welches bereits seit längerem in der Industrie erfolgreich bei thermischen Prozessen bis 400 °C als Wärmeträgermedium eingesetzt wird. Ein wesentlicher Vorteil von Thermoöl als organischem Wärmeträger ist, dass es im Vergleich zu Wasser bei einem höheren Temperaturniveau einen deutlich niedrigeren Betriebsdruck hat (vgl. Abbildung 64). Speziell entwickelte Thermoöle befinden sich im unteren Bereich der Bandbreite (roter Bereich) und können bis zu 400 °C als Wärmeträger eingesetzt werden, ohne dass hohe Dampfdrücke entstehen.

Der gesamte Aufbau des Leitungssystems ist im Vergleich zu Systemen mit höheren Betriebsdrücken deutlich einfacher und kann aus weitgehend verfügbaren Komponenten hergestellt werden. Ein weiterer Vorteil liegt im deutlich geringeren Aufwand für die anfallenden Wartungs- und Reparaturarbeiten.

6.5.1.3. Kosten

Eine vollständige Kostenkalkulation ist für einen Thermoölkreislauf nicht möglich, solange nicht sämtliche Komponenten des Systems definiert worden sind. Für das Leitungssystem inkl. Umwälzpumpe, Ausdehnungsgefäß, Sammelgefäß, Armaturen, Schaltschrank und Flanschverbindungen müssen ca. 15.000 € veranschlagt werden, wobei diese Angabe durch

die Wahl der energieerzeugenden Komponenten stark variieren kann. Bei einer Nutzung von z.B. Parabolrinnenkollektoren mit einer Verschaltung nach Tichelmann ist ein deutlich größerer Bedarf an Leitungen gegeben als z.B. bei der Nutzung eines Heizkessels. Auch die Kosten für den Speicher können deutlich variieren, abhängig vom Bedarf und der gewünschten Puffergröße. Als Richtwert kann jedoch 1000 € für 1 m^3 Speicher für die Materialkosten angenommen werden. Die Preise von nutzbaren Thermoölen für diesen Temperaturbereich liegen z.B. mit FRAGOLTHERM Q-32-N und THERMINOL 66 zwischen 1,5 und 5,0 €/Liter. Die benötigte Menge an Thermoöl ist wiederum abhängig von der Auslegung des Gesamtsystems.

6.5.1.4. Anwendungsgebiete

Thermoölkreisläufe für den Bereich des Kochens und Backens bei einem Temperaturniveau von ca. 100 bis 300 °C, sind im Vergleich zu Industrieprozessen mit Temperaturen ab 240 °C ein neues Anwendungsgebiet, obwohl in diesem Bereich sehr große Einsparungspotentiale vorhanden sind.
Ein kritischer Punkt für den Einsatz von Thermoölleitungen in urbanen Gebieten ist der benötigte Platzbedarf bei den Leitungen, da aufgrund von Brandschutzbestimmungen Sicherheitsabstände einzuhalten sind. Für die erforderliche platzsparende Leitungs- und Anschlusstechnologie sind bis dato noch keine marktreifen Lösungen vorhanden. Diese befinden sich noch im Entwicklungsstatus. Möglichkeiten für den Einsatz in Wohnhäusern werden in dem aktuell laufenden Projekt „Zero Carbon Village“[7] untersucht.

6.5.2. Haushalte

Laut Statistik Austria (2009) sind die Haushalte der zweitgrößte Stromverbraucher in Österreich nach der Industrie mit ca. 30% des gesamten Stromverbrauchs. In der vorliegenden Arbeit wird der Energieverbrauch von Haushaltsgeräten in Österreich, das Potenzial für eine Nachfrageverringerung durch Substitution von Altgeräten durch neue Geräte und eine Verringerung der Anzahl der Geräte, die verwendet werden, untersucht.

Die Vielfalt der Geräte mit unterschiedlichem Stromverbrauch und die Vielfalt des Nutzerverhaltens im Haushaltsbereich verlangen nach einer entsprechenden Methodik zur Erfassung des Stromverbrauchs der Haushalte; eine solche bietet das so genannte „End-Use-Modell“. Dieses End-Use-Modell berücksichtigt die Geräteausstattung im Haushalt, die Nutzungszeit der Geräte, das Alter der Geräte und somit ihre Energieeffizienz, Technologieentwicklungen und Veränderungen des Kundenverhaltens.

Für das Sammeln der Basisinformationen für das End-Use-Modell wurde ein Fragebogen ausgearbeitet und an Strom-Kunden in Österreich verteilt. Die erste Phase wurde im November 2008 begonnen, die zweite Phase ab März 2009, wodurch fast 3500 ausgefüllte Fragebogen zurückkamen. Die Umfrage erfasste verschiedene Informationen zum Haushalt wie

[7] Zero Carbon Village – Energieautarke Siedlung, Industrielle Forschung, Neue Energien 2020, Klima- und Energiefonds, FFG, Projekt: 823049

- Demographie (Anzahl der Erwachsenen, Kinder und Personen im Ruhestand)
- Lage und Fläche der Wohnungen
- Anzahl und Alter der verschiedenen Haushaltsgeräte
- durchschnittliche Nutzung im Tagesverlauf und Regelmäßigkeiten der Nutzung sowie
- die Einschaltdauer der Beleuchtung.

Da der Einsatz von Beleuchtung und der entsprechende Strombedarf an die Anwesenheit der Benutzer geknüpft sind, wurden in Bezug auf die unterschiedliche Benützungszeit typische Kategorien von Haushalten definiert. Die gesammelten Daten der durchgeführten Umfrage wurden anschließend mit den entsprechenden nationalen Daten der Statistik Austria verglichen. Für die unterschiedlichen Haushaltsgrößen zeigt sich eine gute Übereinstimmung des Stromverbrauchs pro Jahr der Stichprobe mit den Daten der Statistik Austria (Referenzjahr 2008) mit Ausnahme der Single Haushalte, welche eine deutliche Abweichung zeigen (vgl. Abbildung 65).

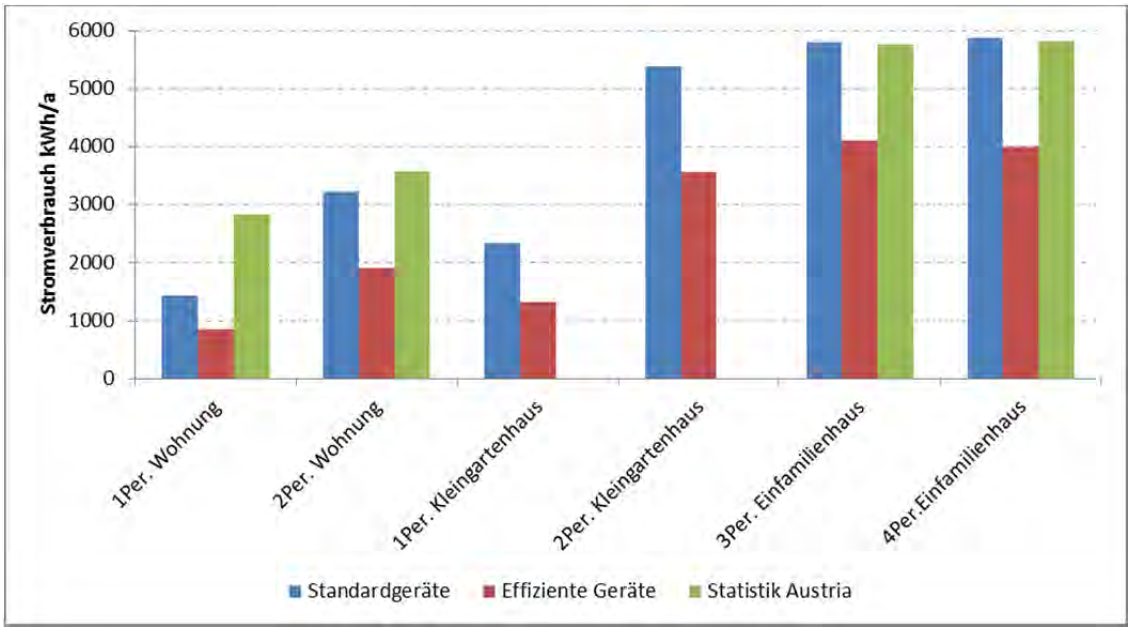


Abbildung 65: Jährlicher Stromverbrauch nach Haushaltsgröße mit unterschiedlicher Geräteausstattung modelliert im Vergleich zu Angaben der Statistik Austria

Die Analyse der gesammelten Daten zeigt ein hohes Potenzial zur Einsparung von Energie alleine durch den Ersatz von alten, ineffizienten Geräten mit neuen, energieeffizienten Produkten. Durch den Austausch alter Weiß-Ware sowie dem Fernseher mit ihrem jeweils besten verfügbaren Gegenstücken auf dem Markt können im Jahr 2020 knapp 2,6 TWh Energie im Vergleich zu 2008 eingespart werden. Berücksichtigte man alle Möglichkeiten zum Energiesparen im österreichischen Haushaltssektor, könnten im Mittel 35% des jährlichen Stromverbrauchs in Privathaushalten eingespart werden.

Tabelle 19: Übersicht über den Stromverbrauch von Haushaltsgeräten

Geräte	Anzahl der Geräte pro Haushalt		Anzahl der Geräte insgesamt in Millionen		Jährlicher Energieverbrauch (GWh/a)	
	2008	2020	2008	2020	2008	2020
Kühlschrank	1.20	1	4.28	3.88	982	355
Gefrierschrank	0.90	1	3.21	3.88	869	419
Waschmaschine	0.95	1	3.39	3.88	901	706
Trockner	0.38	0.5	1.36	1.94	186	159
Geschirrspüler	0.81	1	2.89	3.88	897	590
Fernseher	1.90	1.2	6.78	4.66	1443	477

6.5.2.1. Stochastisches Bottom-up Markovketten-Modell

Zusätzlich zu den gesammelten Informationen durch die Umfrage wurde eine Messkampagne gestartet. Hier wurden sowohl der Summenlastverbrauch als auch Messungen an einer Vielzahl von einzelnen Geräten durchgeführt. Die Messungen auf Sekundenbasis erstreckten sich jeweils über zwei Wochen und wurden zweimal durchgeführt; einmal im Winter und einmal im Sommer, um Aufschluss über jahreszeitliche Abweichungen im Stromverbrauch zu erlangen.

Das hier verwendete Modell für die Simulation der Haushaltslastprofile basiert auf der Kategorisierung der Familientypen und den Verbrauchsmustern der individuellen elektrischen Geräte. Die Muster des elektrischen Verbrauchs der Geräte wurde mittels nicht-homogener Markovketten mit zwei Zuständen und Übergangswahrscheinlichkeiten, welche auf den detaillierten Datensätzen der gemessenen Haushalte beruhen, generiert. Die Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix wird für jedes Gerät und jede Haushaltskategorie bestimmt. Für die Generierung der synthetischen Lastprofile wurden Zufallszahlen zwischen 0 und 1 erstellt. Damit wurde zu jedem Zeitschritt mit der Übergangswahrscheinlichkeits-matrix und dem Status des aktuellen Zeitschritts der Zustand im nächsten Zeitschritt berechnet.

Abbildung 66 zeigt den Strombedarf über ein Jahr für definierte Haushaltstypen und Haushaltsgeräte. Blaue Balken zeigen die Energiebedarf der durchschnittlichen, vorhandenen Geräte und die roten Balken den theoretischen Energiebedarf nach Austausch durch das effizienteste, am Markt verfügbare Haushaltsgerät. Zu beachten ist der Strombedarf der Standard-Waschmaschine im Kleingartenhaus; hier handelt es sich um einen Ausreißer, der in den Messdaten begründet ist. In den Zweipersonen-Wohnungen der Stichprobe waren keine Geschirrspüler vorhanden, weshalb keine Berechnung möglich war. Abbildung 67 zeigt exemplarisch für die Haushalte das Lastprofil eines Einfamilienhauses mit drei Bewohnern. Gut erkennbar sind der verringerte Strombedarf durch energieeffiziente Geräte und der deutlich höhere Strombedarf im Winterhalbjahr.

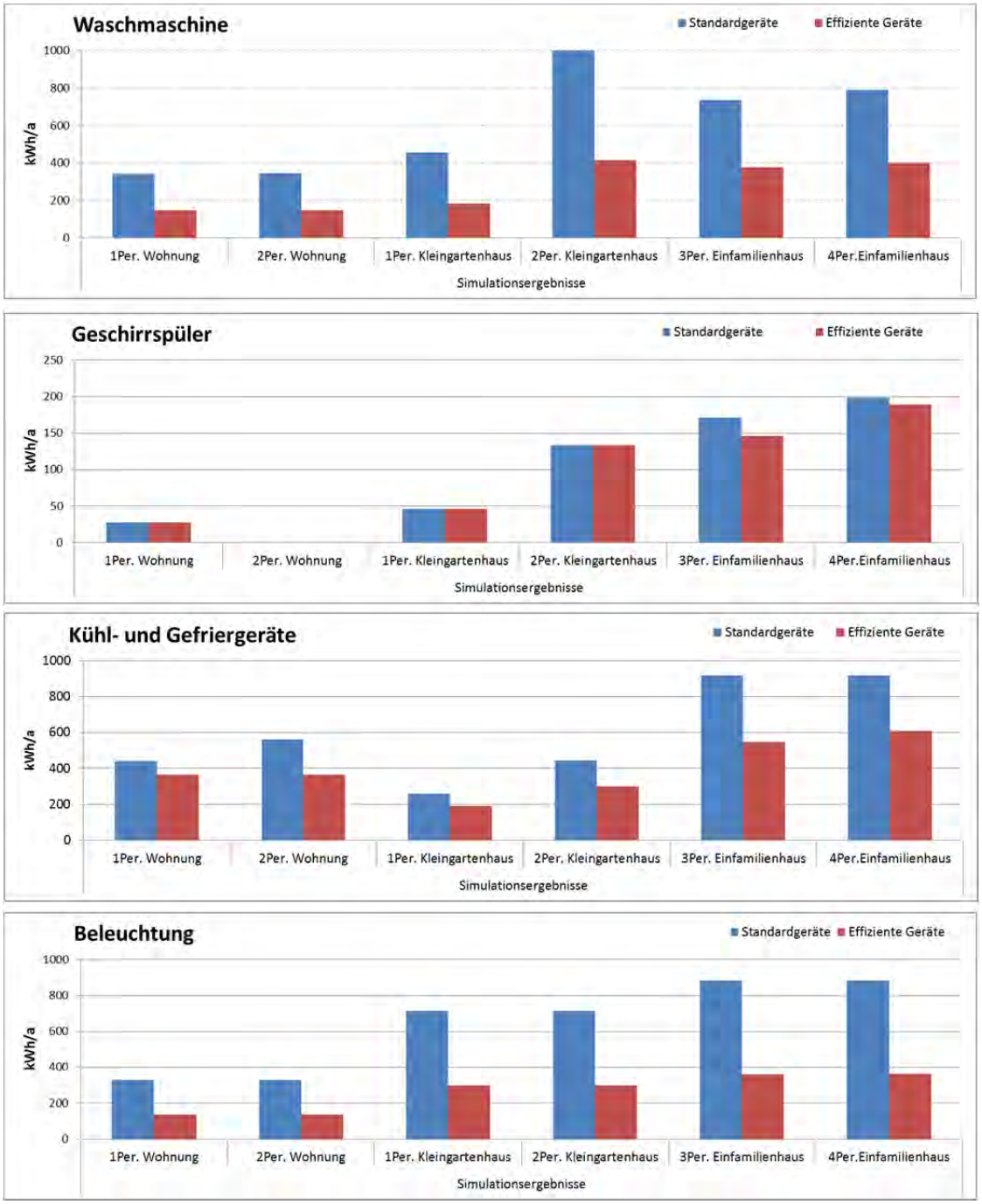


Abbildung 66: Jährlicher Strombedarf ausgewählter Haushaltsgroßgeräte und der Beleuchtung nach heutigem Standard und mit effizienter Geräteausstattung in unterschiedlichen Haushaltsgrößen. Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Messdaten und dem stochastischen Markovketten-Modell; man beachte die abweichende Skala bei den Geschirrspülern.

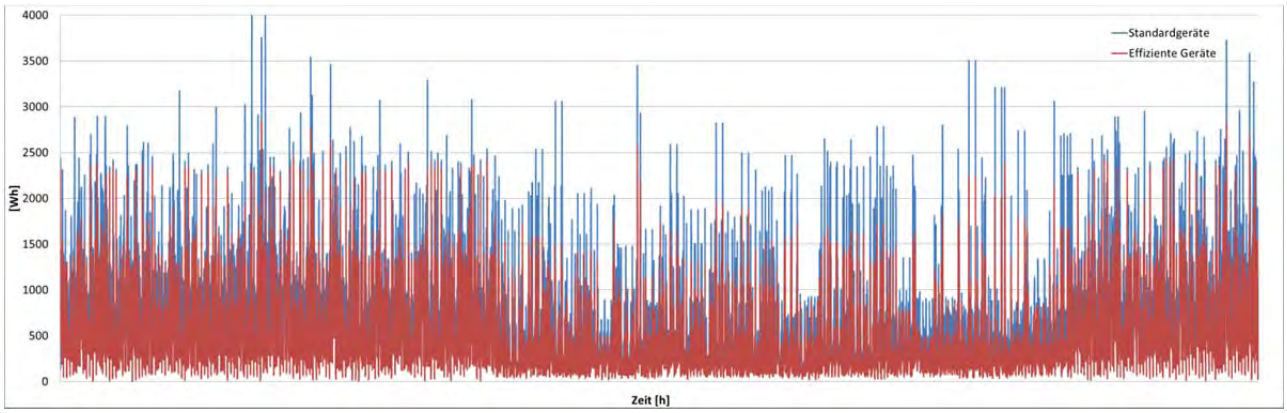


Abbildung 67: Lastprofil eines 3-Personen Einfamilienhauses innerhalb eines Jahres

6.5.2.2. Einsparungspotential durch Energieeffizienzstandards

Ein besonders großes Einsparungspotential bei Haushaltsgeräten ergibt sich durch regulative Energieeffizienzstandards. In der Vergangenheit konnten die Hersteller zu geringen oder ganz ohne Mehrkosten höhere Energieeffizienz durch entsprechendes Design der Geräte erzielen. Die Lernraten sind dabei sehr hoch und liegen zwischen 13% bei Gefriergeräten und 35% bei Waschmaschinen (siehe Abbildung 68). Daher ist eine periodische Evaluierung, in etwa alle drei bis fünf Jahre, von solchen Minimumeffizienzstands und ihre kontinuierliche Verschärfung dringend empfehlenswert. Dies muss durch entsprechende Regularien sichergestellt werden, da die Hersteller keine Anreize zur Verbesserung der Energieeffizienz ihrer Geräte haben, denn die Energiepreise sind derzeit zu niedrig um bei den Kunden entsprechend Eingang in die Kaufentscheidung zu finden. Gesetzlich definierte Minimumeffizienzstands sind unter diesen Voraussetzungen – der kostengünstigen Energieeffizienzsteigerung - aus volkswirtschaftlicher Sicht wesentlich zielführender als Fördermaßnahmen.

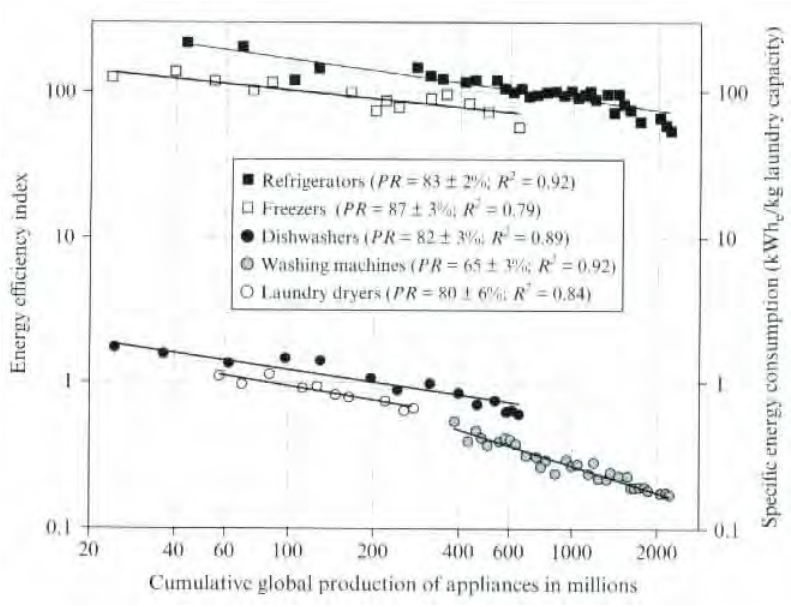


Abbildung 68: Energieeffizienz-Erfahrungskurve für Kühl- und Gefriergeräte (linke Achse) sowie Geschirrspüler, Waschmaschinen und Wäschetrockner (rechte Achse); (entnommen aus van Sark, et al, 2010)

6.5.2.3. Einsparungspotential durch einen Thermoölkreislauf

Ausgehend vom Bedarf an elektrischer Energie, welcher abhängig von der Geräteausstattung der Haushalte (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Reihenhaus, Kleingartenhaus) ist, kann entsprechend dem Konzept des Plusenergiegebäudes ein mögliches Einsparungspotential an elektrischer Energie ermittelt werden. Die Betrachtung des Bedarfes an elektrischer Energie Kategorien Wohnhäuser und Bürogebäude (Bedarf der Gewerbebetriebe ist anwendungsspezifisch) hat ergeben, dass bei den Wohnhäusern eine größere Energieeinsparung mit der Substitution elektrischer durch thermische Energie möglich ist. Aus diesem Grund und weil sämtliche thermischen Energiedienstleistungen eines Bürogebäudes auch in Wohnhäusern vorzufinden sind, wird in weiterer Folge von der Anwendung eines Thermokreislaufes in einem durchschnittlichen Wohnhaushalt ausgegangen. Die Beschreibung der elektrischen Einsparpotentiale im Bürogebäude erfolgt weiter unten.

Das größte Einsparungspotential durch die Substitution elektrischer mit thermischer Energie zeigt sich im Bereich der Koch- und Backgeräte, der Kühl- und Gefriergeräte und weiterer Haushaltsgroßgeräte wie Geschirrspüler, Waschmaschine und Trockner. Der Adaptierungsaufwand für die Nutzung von thermischer Energie bei Kleingeräten (z. B. Toaster, Wasserkocher, etc.) wäre hingegen relativ hoch.
Das Einsparungspotential bei Haushaltsgroßgeräten wird noch größer, wenn man eine aktuelle Studie der Statistik Austria betrachtet [Standard, 2011], die aufzeigt, dass der Stromverbrauch in österreichischen Haushalten trotz neuer energiesparender Produkte seit 2003 um ca. 3 % gestiegen ist. Vor allem im Bereich Kochen und Backen sei ein deutlicher Anstieg von 10 % zu beobachten gewesen. Dieser Trend würde die Einsparung, die sich aus

der Substitution elektrischer Energie durch thermische Nutzenergie ergibt, deutlich vergrößern.

Tabelle 20: Jährlicher Stromverbrauch und Stromverbrauchs-Reduktionspotentiale im Haushalt [GrAT, 2012]

Beitragende Haushalte		**Reduktion auf**	**Reduktion auf**
	Median in [kWh]	**In [kWh]**	**In [%]**
Warmwasserbereitung	1.612	0	0%
Umwälzpumpe	347	46	13%
Gefriergeräte	329	0	0%
Beleuchtung	298	149	50%
Herd, Backrohr	291	29	10%
Kühlgeräte	263	0	0%
Geschirrspüler	222	50	22%
Heizung inklusive Hilfsenergie	220	10[8]	5%
Wäschetrockner	178	50	28%
Waschmaschine	175	40	23%
Summe	**3934 kWh**	**374 kWh**	**10%**

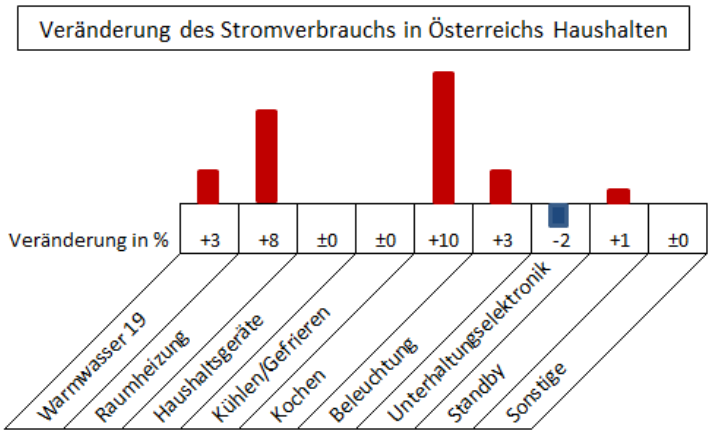


Abbildung 69: Stromverbrauch in Österreichs Haushalten [GrAT, 2012]

Geräte aus den Bereichen der Beleuchtung und der Kommunikationsmedien sowie elektrische Motoren und Pumpen benötigen ausschließlich elektrische Energie. Es besteht

[8] Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

die Möglichkeit, auch bei diesen Geräten Einsparungen durch die Verwendung von energieeffizienten Topprodukten zu erzielen.

Für die Abdeckung der thermischen Energiedienstleistungen im Niedertemperaturbereich sind bereits verschiedene marktfähige Endgeräte vorhanden, die im Fachhandel vertrieben werden. Hierzu zählen z.B. Waschmaschinen oder Geschirrspüler mit Warmwasseranschluss. Die Erwärmung auf die gewünschte Betriebstemperatur durch ein elektrisches Heizregister entfällt. Einzig der benötigte Restenergiebedarf für z.B. Pumpen und Motoren muss elektrisch bereitgestellt werden. Der Verbrauch von Waschmaschinen kann damit um bis zu 77 % von 175 kWh auf 40 kWh reduziert werden und der Verbrauch von Geschirrspülern um bis zu 78 % von 222 kWh auf 50 kWh im Jahr (siehe Tabelle 20 und Wertz, 2009b).

In den nachfolgenden Abbildungen wurden Waschmaschinen und Geschirrspüler aus verschiedenen Kategorien miteinander verglichen, um ausgehend vom Verbrauch eine Übersicht der Betriebskosten bzw. der Kosteneinsparungen von energieeffizienten Endgeräten zu erhalten.

Für die Standardgeräte (BAU – business as usual) und die elektrisch betriebenen Topprodukte vom Januar 2011 (TOP_2011.01) wurden Daten aus der Studie “The relevance of end-use electricity efficiency improvements for a sustainable Austrian economy – Deriving policy strategies” [Suna et al., 2011] herangezogen. Die Verbrauchsdaten der elektrisch betriebenen Topprodukte vom April 2012 (TOP_2012.04) und die mit Warmwasser betriebenen Produkte (WW) wurden über die klima:aktiv-Seite www.topprodukte.at [Topprodukte, 2012] sowie über direkte Anfragen bei den Herstellern bzw. den Vertreibern der Produkte recherchiert. Zur Berechnung der Betriebskosten wurde die Strompreisentwicklung der Energie-Control Austria aus dem Jahr 2011 herangezogen (siehe Anhang Abbildung 165) und mit einem durchschnittlichen Haushaltspreis von 0,18 ct/kWh inklusive Netzentgelte sowie Steuern und Abgaben gerechnet. [Energie-Control Austria, 2011]

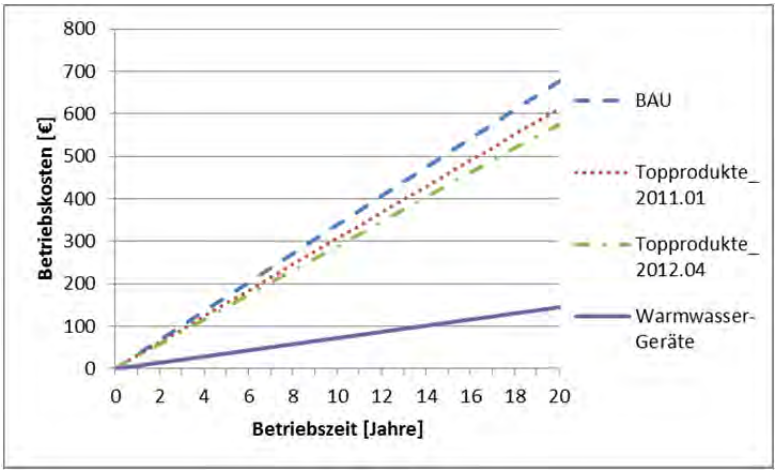


Abbildung 70: Betriebskosten von Waschmaschinen [GrAT, 2012]

Ausgehend von einer durchschnittlichen Nutzung der Waschmaschinen mit 200 Zyklen im Jahr in österreichischen Haushalten ergibt dies jährliche Betriebskosten von 33,84 € für BAU mit 0,94 kWh/Zyklus, 30,60 € für TOP_2011.01 mit 0,85 kWh/Zyklus, 28,80 € für TOP_2012.04 mit 0,8 kWh/Zyklus und 7,20 € für WW mit ca. 0,2 kWh/Zyklus.

Für Geschirrspüler mit einer durchschnittlichen Nutzung von 250 Zyklen ergeben sich Betriebskosten von 46,35 € für BAU mit 1,03 kWh/Zyklus, 37,35 € für TOP_2011.01 mit 0,83 kWh/Zyklus, 35,10 € für TOP_2012.01 mit 0,78 kWh/Zyklus und 9,00 € für WW mit ca. 0,2 kWh/Zyklus im Jahr.

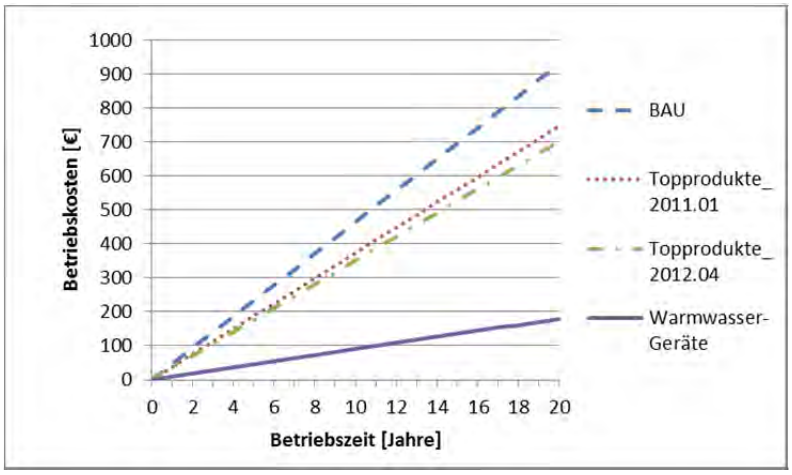


Abbildung 71: Betriebskosten von Geschirrspülern [GrAT, 2012]

Für die Durchführung einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung wurden zu den Betriebskosten die durchschnittlichen Anschaffungskosten aktuell erhältlicher Topprodukte ermittelt. [Topprodukte, 2012]

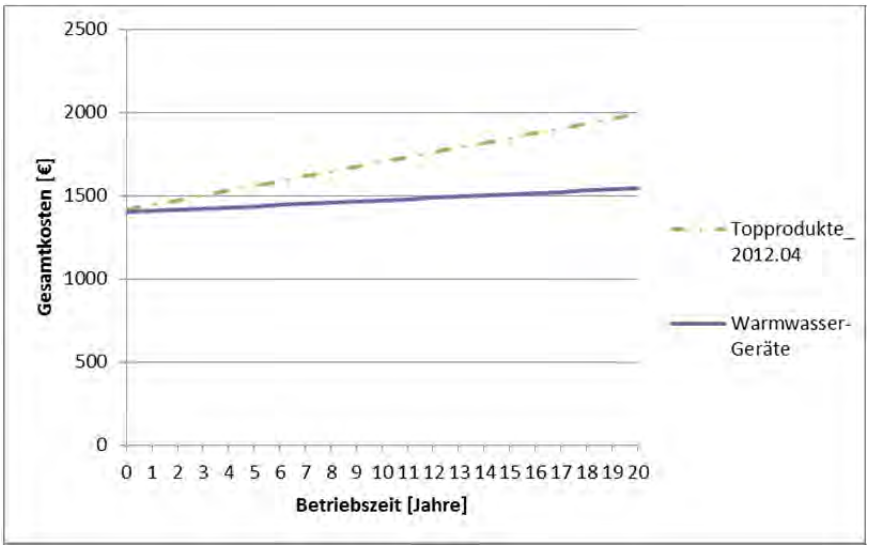


Abbildung 72: Gesamtkosten von Waschmaschinen [GrAT, 2012]

Der Preis für die elektrisch betriebenen Waschmaschinen liegt mit durchschnittlich 1415 € über dem von Waschmaschinen mit Warmwasseranschluss mit durchschnittlich 1399 €. Bei einer Betrachtung der durchschnittlichen Lebensdauer von 11 Jahren ergibt das eine Kosteneinsparung von 254 €.
Der durchschnittliche Anschaffungspreis für elektrisch betriebene Geschirrspülmaschinen liegt bei 1421 €. Im Gegensatz zu den Waschmaschinen liegt der Preis der Geschirrspüler mit Warmwasseranschluss mit 1586 € über dem der elektrisch betriebenen Geräte. Ausgehend von den Betriebskosten ist der break-even point nach 7,3 Jahren erreicht. Die Gesamtkosteneinsparung über den durchschnittlichen Nutzungszeitraum von 15 Jahren bei Geschirrspülern liegt bei 226 €. Im Büro liegt die Kosteneinsparung bei den Geschirrspülern wegen der höheren Auslastung der Geräte über dem der Haushalte.

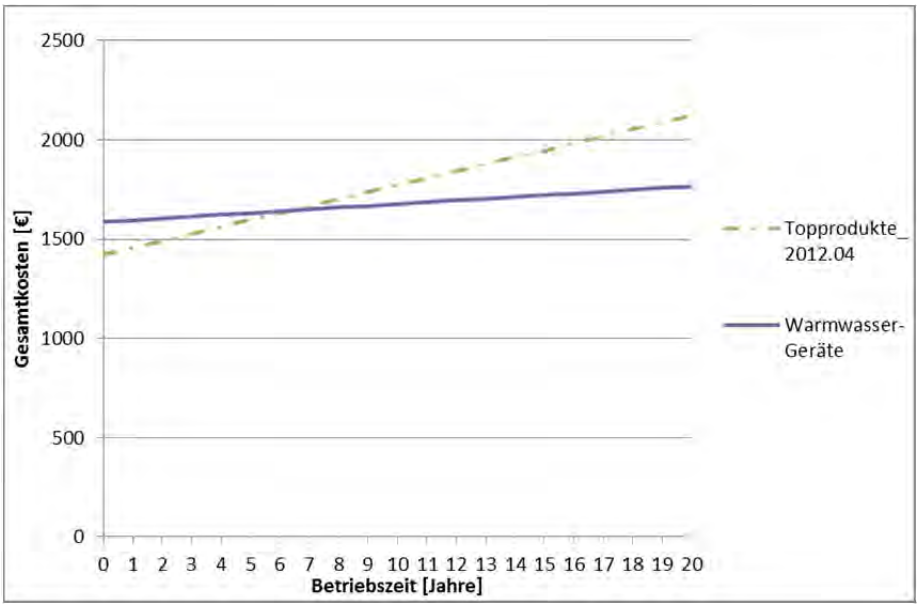


Abbildung 73: Gesamtkosten von Geschirrspülern [GrAT, 2012]

Die Substitution elektrischer Energie durch thermische Nutzenergie im Niedertemperaturbereich durch die Verwendung von thermisch betriebenen Endgeräten ist aus umwelt- und ressourcenschonender sowie aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll. In einem von Suna et al. dargestellten Kostenszenario bis 2030 (siehe Anhang Abbildung 166) ist in Zukunft mit einem weiteren Strompreisanstieg und auch mit einer weiteren Senkung der Gerätekosten zu rechnen. Dieses hätte eine weitere Kosteneinsparung bei Haushaltsgeräten mit Warmwasseranschluss gegenüber elektrisch betriebenen Haushaltsgeräten zur Folge. [Suna et al., 2011]
Dass thermisch betriebene Endgeräte zukünftig eine immer wichtigere Rolle spielen werden, belegen auch aktuelle Forschungsprojekte bzgl. solarbetriebener Trockner oder die

Entwicklung einer thermisch betriebenen Kühl- und Gefriereinheit über Warmwasser im Niedrigtemperaturbereich[9] durch die GrAT.

6.5.3. Bürogebäude

Für Bürogebäude ist ein stochastisches Modell mit 30 Minuten Zeitauflösung erstellt worden. Die Arbeitszeiten im Büro sind Montag bis Freitag zwischen 9:00 und 18:00 Uhr und Samstag als Halbtag angenommen. Das modellierte Bürogebäude besteht aus unterschiedlichen Räumen wie Küche, Konferenz- und Besprechungszimmern sowie Büroarbeitsplätzen mit den jeweils relevanten elektrischen Geräten. Die Besetzung der Räume und die Nutzung der elektrischen Geräte sind durch eine normalverteilte Zufallsgeneratorfunktion, basierend auf experimentell gemessenen Werten modelliert. Tabelle 21 listet Leistung und Standby-Bedarf ineffizienter und effizienter Geräteausstattung im Bürogebäude auf.

Tabelle 21: Angenommene Geräteausstattung im Bürogebäude; Quelle: Eigene Daten und Ergänzungen von www.topprodukte.at

Elektrische Geräte:		**Ineffizient**		**Effizient**	
Geräte pro Arbeitsplatz:		**Leistung**	**Standby**	**Leistung**	**Standby**
Arbeitsplatzrechner bzw. Notebook	[W]	40	3,2	20	2,5
Monitor 19"	[W]	45	1	16	0,4
Telefon	[W]	1,31	0,75	0,96	0,35
Radio Ladegeräte Gadgets	[W]	4	2	4	1
Rechner	[W]	100	4,5	70	3,5
Tischlampe	[W]	20	0	10	0
Server:					
Switch Internet	[W]	1,31	0,75	0,96	0,35
Kabel-Modem	[W]	13	13	8	8
W-Lan Router	[W]	6	6	4	4
Server	[W]	150	150	50	50
Weitere Geräte:					
Kopierer	[W]	861	20	650	4
Flatscreen (Präsentationszwecke)	[W]	0,2	20	0,7	
Drucker	[W]	100	24	80	2
Fax	[W]	15	6	15	6
Multifunktionsgeräte	[W]	100	24	80	2
Teeküche:					
Mikrowelle	[W]	600	5	600	1
E-Herd	[W]	2000	5	2000	0,5

[9] Zero CO2 Cooler – der Kühlschrank mir Warmwasseranschluss, Industrielle Forschung, Neue Energien 2020, FFG-Projekt: 825494

Kühlschrank	[W]	80	10	55	1
Kaffeemaschine	[W]	550	3,6	140	0
Teekocher	[W]	1500	0	1500	0
Geschirrspüler	[W]	500	5	360	1
Toaster	[W]	800	0	800	0
Pausenraum					
Gadget	[W]	7	0	7	0
Wasserspender	[W]	14	14	14	14
Tischlampe	[W]	11	0	4	0
Radio	[W]	4	2	4	1
Konferenzraum					
Beamer	[W]	385	37	270	20
Telefone	[W]	1,31	0,75	0,96	0,35
Kaffeemaschine	[W]	550	3,6	140	0
Kühlschrank	[W]	80	10	55	1
Soundsystem	[W]	13		8	
Flatscreen	[W]	266	7	81	0,2
Besprechung					
Beamer		385	37	270	20
Telefone		1,31	0,75	0,96	0,35
Brandmelder	[W]	0,5	0,5	0,2	0,2
Hinweisschilder	[W]	8	8	2	2
Bewegungsmelder Allgemein	[W]	0,5	0,5	0,2	0,2

Abbildung 74 illustriert die simulierten Lastprofile über eine Woche. Die blaue Linie zeigt den Leistungsbedarf der durchschnittlichen elektrischen Geräte und die rote Linie den Leistungsbedarf durch Nutzung der effizientesten, am Markt verfügbaren Geräte. Obwohl die Muster des Energiebedarfs sich nicht ändern, zeigt das Modell Einsparpotentiale von ca. 50% im Bürogebäude.

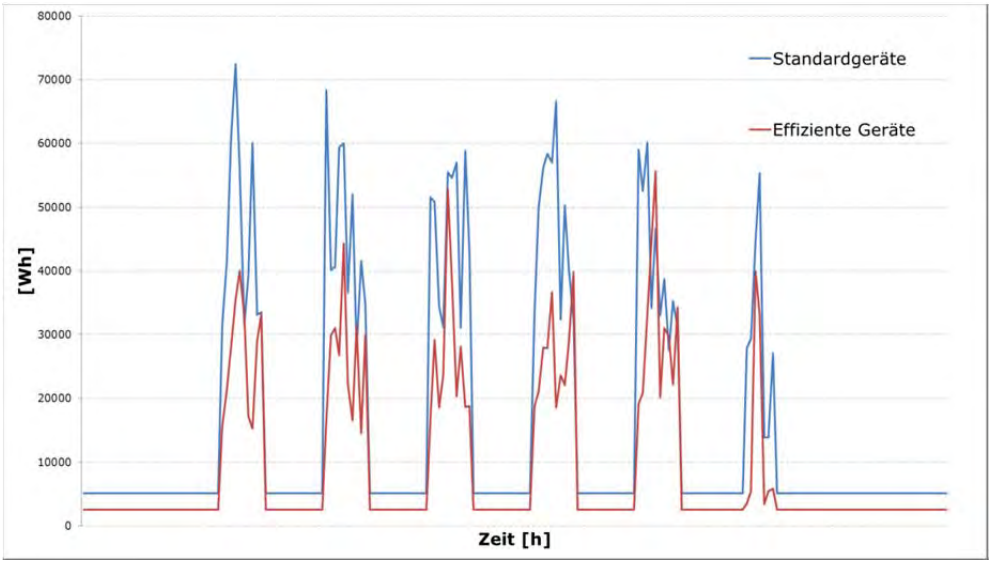


Abbildung 74: Modelliertes Lastprofil des Bürogebäudes für eine Woche mit unterschiedlicher Geräteausstattung

Für die Ermittlung der Endgeräte, bei denen eine Substitution elektrischer durch thermische Energie möglich ist, wurde der 2. Stock eines Bürogebäudes untersucht. Das Gebäude besteht aus insgesamt 9 Etagen. Abhängig von den Räumlichkeiten weisen die einzelnen Stockwerke entweder 17 oder 25 Arbeitsplätze auf. Die Gesamtanzahl der Arbeitsplätze beläuft sich auf 193. Das Erdgeschoß wurde für die Untersuchung nicht ausgewählt, da es aufgrund der Infrastruktur des Eingangsbereiches und der damit verbundenen Ausstattung von den anderen Stockwerken abweicht.

Die Räumlichkeiten der Etage beinhalten sieben Büroräume (Arbeitsplätze = 25), eine Küche, ein Besprechungszimmer, einen Konferenzraum, einen Serverraum, einen Pausenraum, ein Lager sowie einen Sanitärbereich. Der verbleibende Anteil wird vom Flur, dem Lift und dem Stiegenhaus eingenommen. In der nachfolgenden Tabelle findet sich eine Auflistung der Räume bzw. der Geräte, bei denen eine Substitution elektrischer durch thermische Energie möglich ist.

Tabelle 22: Stromverbraucher im Büro [Quelle: eigene Recherchen]

Gerät	Anzahl[10]	Mögliche Substitution elektrischer durch thermische Energie
Büroräume 2.Stock	**7**	
Arbeitsplätze 2.Stock	25	—
Server	1	—
Gemeinschaftsgeräte	8	—
Küche	**1**	
Mikrowelle	2	✓
E-Herd	1	✓
Kühlschrank	2	✓
Kaffeemaschine	2	✓
Teekocher	2	✓
Geschirrspüler	1	✓
Toaster	1	✓
Pausenraum	**1**	—
Konferenzraum	**1**	
Kaffeemaschine	1	✓
Kühlschrank	1	✓
Besprechungsraum	**1**	—
Etagenausstattung	**1**	—

Die Geräte mit einer thermischen Dienstleistung stammen ausschließlich aus dem Küchenbereich und sind damit auch in einem Haushalt zu finden, weisen aber im Büro aufgrund intensiverer Nutzung einen höheren Jahresverbrauch auf(siehe Anhang Tabelle 44 und Tabelle 46). Jedoch zeigt sich bei einem Gesamtvergleich sämtlicher im Büro und im Haushalt vorkommender stromverbrauchender Geräte auch unter Betrachtung der Gebäudegröße und der Auslastung der Geräte pro Person, dass bei Haushalten ein höheres Potential bei der Substitution elektrischer Energie durch thermische Nutzenergie besteht.

6.5.4. Fabrikshalle

Der Energiebedarf von Industrie- und Gewerbebetrieben ist abhängig von deren Infrastruktur, die wiederum durch den Nutzungszweck geprägt wird. Im Falle einer typischen Fabrikhalle verbrauchen die Werkzeugmaschinen, Messgeräte, Öfen und mechanischen Vorrichtungen große Mengen an Energie. Der Energie- bzw. Leistungsbedarf der Maschinen ist dabei von den Erfordernissen des Produktionsbetriebes und den gewählten Programmen der Maschinen abhängig. Da eine stochastische Modellierung des Lastprofils der Fabrikhalle mit den vorhandenen Daten nicht möglich war, wurde auf gemessene Daten des Instituts für Fertigungstechnik, TU Wien, über den Zeitraum eines halben Jahres am Standort Engerthstraße, Wien 20, zurückgegriffen. Die Messung wurde im ersten Halbjahr 2010 in 15

[10] Anzahl der Geräte auf ganze Zahlen gerundet

Minuten-Intervallen durchgeführt. Durch eine Spiegelung der Lastprofile wurde ein Zeitraum von einem Jahr modelliert (siehe Abbildung 75).

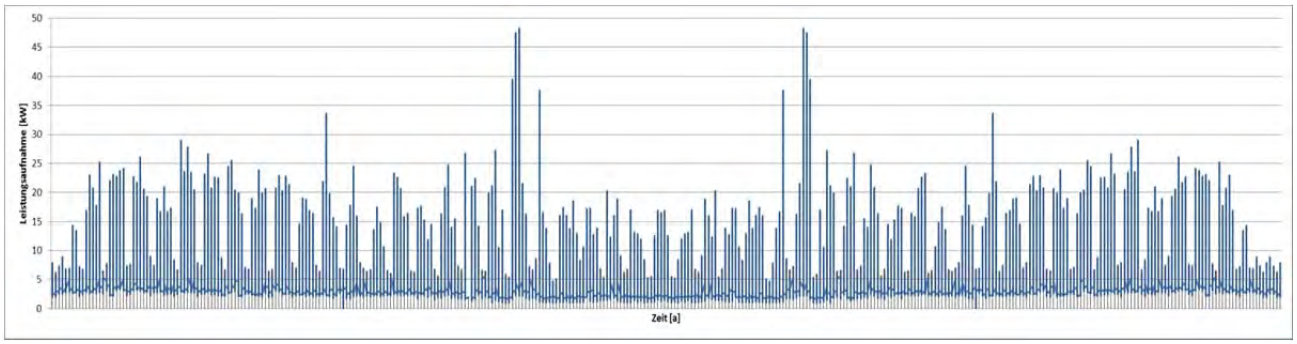


Abbildung 75: Lastprofil der Fabrikhalle eines Jahres in Kilowatt; Quelle: Messungen des Instituts für Fertigungstechnik, TU Wien über den Zeitraum eines halben Jahres am Standort Engerthstraße, Wien

Abbildung 77 zeigt das Energieflussbild der Fertigungshalle. Elektrischer und thermischer Energiebedarf für Raumheizung halten sich dabei in etwa die Waage. Daraus geben sich Energieeinsparungspotentiale durch eine Verbesserung der Gebäudehülle und in Folge eine Verringerung des Heizenergiebedarfs und beim Stromverbrauch insbesonders bei den Werkzeugmaschinen, der Beleuchtung und der Druckluftversorgung. Bei dem größten Stromverbraucher, den Werkzeugmaschinen, können besonders im Betrieb durch ein entsprechendes Design der Maschine Einsparungen erzielt werden, wie in Abbildung 76 ersichtlich ist. Die Möglichkeit des Einsatzes von Thermoölkreisläufen im vorliegenden Fall ist als eher gering einzuschätzen. In Gewerbebetrieben mit einem hohen thermischen Bedarf, wie er z.B. in Bäckereien, Wäschereien oder Fleischereien gegeben ist, lassen sich mit einem Thermoölkreislauf jedoch große Mengen an elektrischer Energie einsparen.

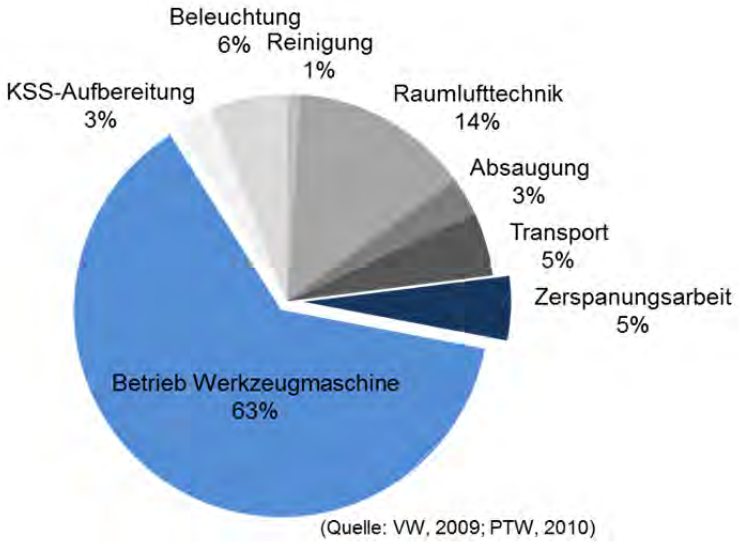


Abbildung 76: Energieeinsatz einer typischen Werkzeugmaschine

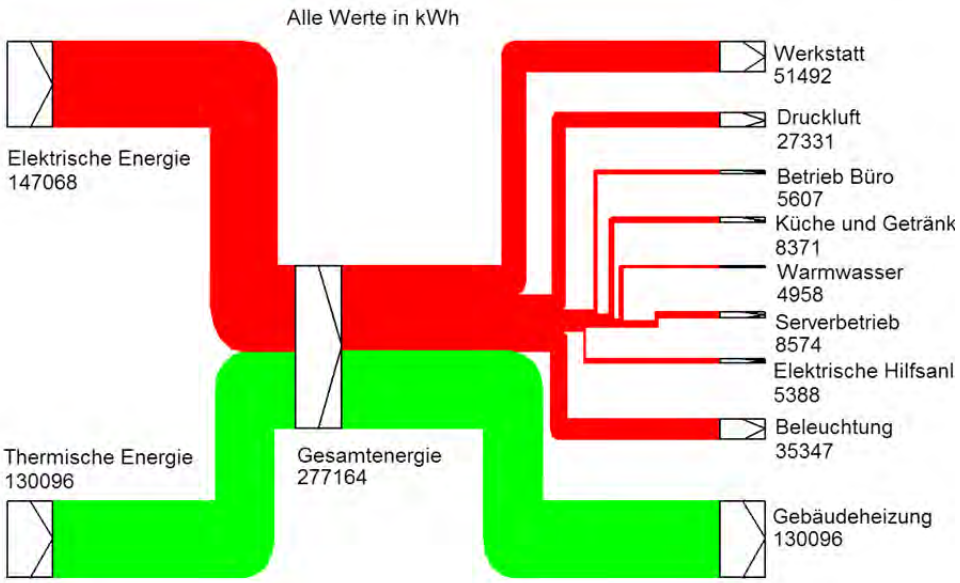


Abbildung 77: Thermischer und elektrischer Energiebedarf der Fabrikhalle; Quelle: Instituts für Fertigungstechnik, TU Wien

Abbildung 78: Maschinen- und Messgeräteausstattung einer typischen Fabrikhalle

6.5.5. Aussicht – zentrales Energieversorgungssystem für eine Siedlung

Aktuelle Recherchen im Projekt „Zero Carbon Village“[11] für den Einsatz eines Thermokreislaufes mit Thermoöl als Wärmeträger gehen momentan in Richtung zentrales Energieversorgungssystem in Kombination mit einem Stirling-Motor oder einem Organic-Rankine-Cycle-Prozess (kurz: ORC-Prozess). Die Bereitstellung der thermischen Energie kann durch Parabolrinnenkollektoren erfolgen. Durch den Betrieb einer sogenannten Micro-ORC-Anlage (konstante Versorgung mit ca. 50 kW thermischer Energie) könnte beispielsweise im Rahmen eines Siedlungsverbandes von 50 Wohneinheiten nach dem „Wireless House“-Konzept eine vollständige elektrische und thermische Energieautarkie erreicht werden.

Diese Kombination mit konzentrierenden Solarkollektoren für die Abdeckung des Mitteltemperaturbereiches ist für den Standort Österreich aufgrund der relativ niedrigen Direkteinstrahlung fraglich. In jedem Fall wird ein Backup-System erforderlich sein. In der nachfolgenden Abbildung ist dargestellt, wie ein solches Energieversorgungsschema für eine Prototyp-Siedlung aussehen könnte. Eine weitere Möglichkeit wäre der Einsatz von KWK-Anlagen, welche in den letzten Jahren verstärkt von Herstellern aus Deutschland angeboten werden. Mit den verschiedenen vorhandenen Technologien könnten je nach Bedarf unterschiedliche Leistungsbereiche abgedeckt werden.

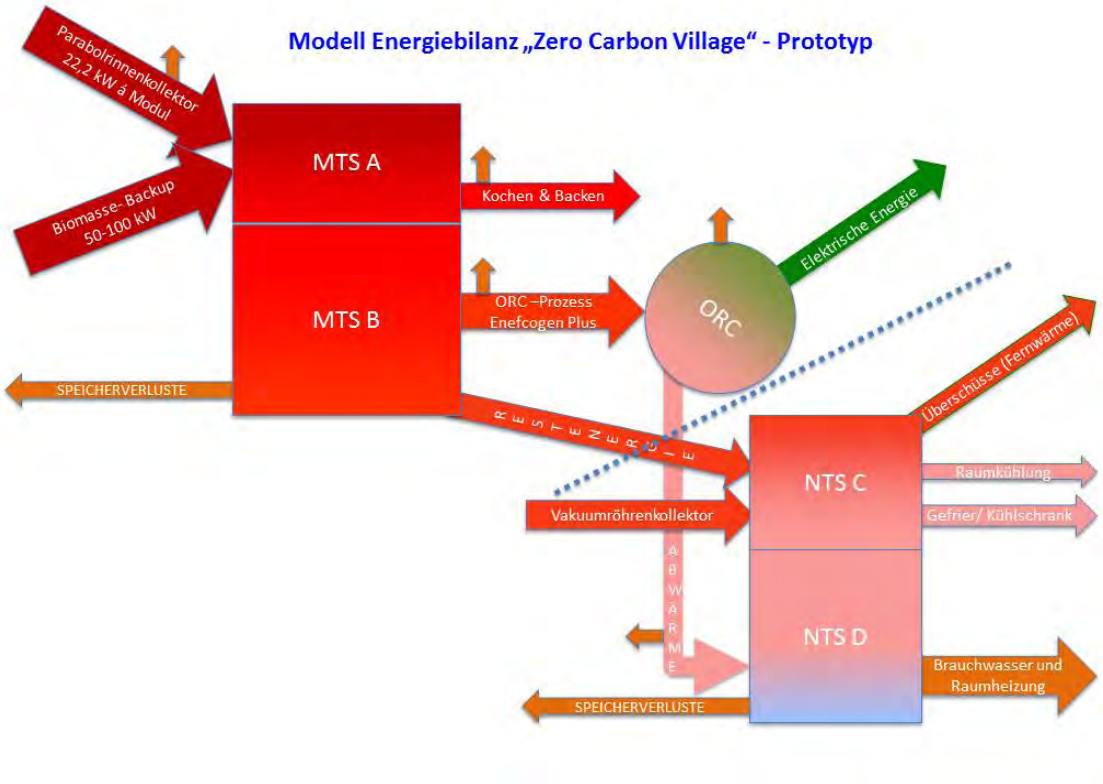


Abbildung 79: Energieversorgungsschema „Zero Carbon Village“ – Prototyp [GrAT]

[11] Zero Carbon Village – Energieautarke Siedlung, Industrielle Forschung, Neue Energien 2020, Klima- und Energiefonds, FFG, Projekt: 823049

6.6. Energiebereitstellung

In diesem Kapitel wird eine Beschreibung der Energiewandler, die in einem Plusenergiegebäude vorrangig zum Einsatz kommen, vorgenommen. Dabei wurde die im Folgenden näher beschriebene Einteilung in die Unterkapitel „Energie“, „Kosten“ und „Ökologie“ zu Grunde gelegt. Wenn bei den einzelnen Technologien nicht anders angegeben, wurde zu den dargestellten Aspekten folgende Vorgehensweise gewählt:

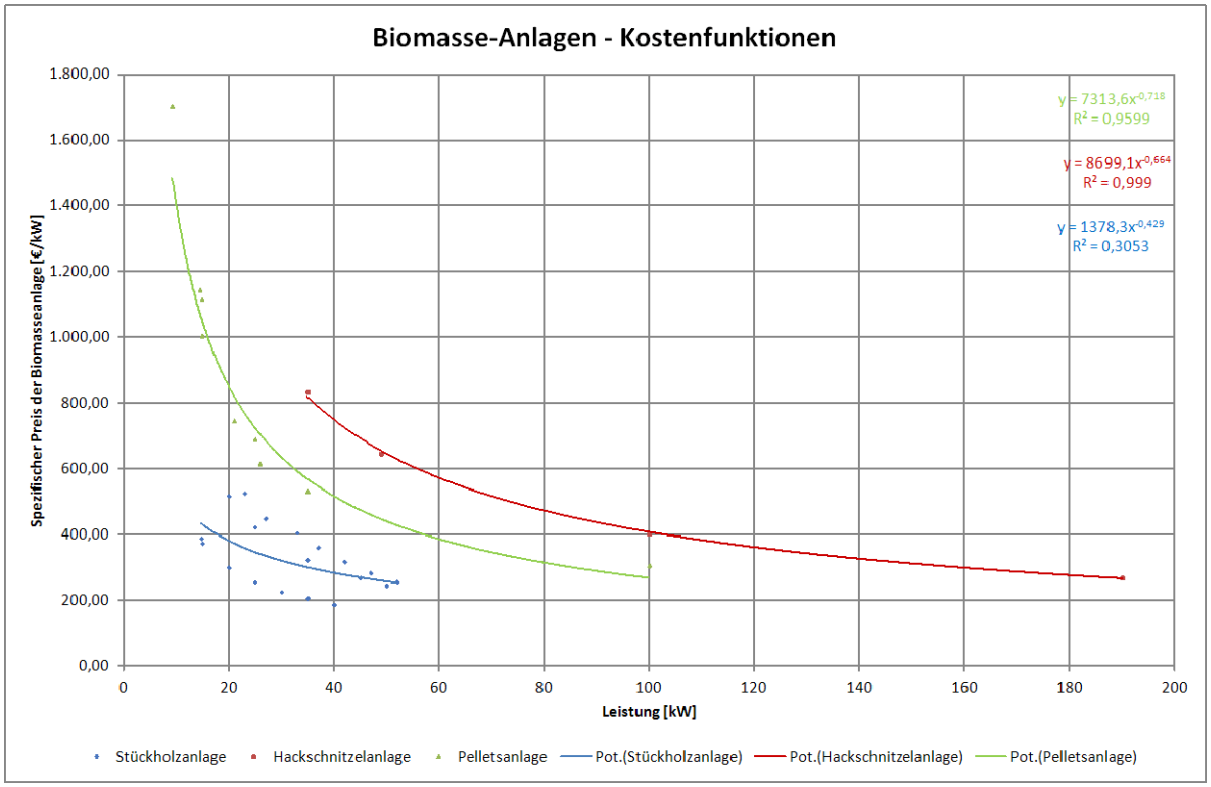
Energie

Auf Basis der Lastdaten der betrachteten Gebäude sowie der halbsynthetischen Klimadaten des Standortes (vgl. Kapitel 4.5) wurde das Verhalten der gebäudeintegrierten Energiebereitstellungstechnik in stündlicher Auflösung abgebildet. Dafür wurde auf Kennlinien-Ansätze und auch einfache physikalische Modelle zurückgegriffen. Nach Möglichkeit wurden als Input-Parameter allgemein verfügbare gerätespezifische Daten herangezogen, die in Prüfprotokollen oder technischen Gerätebeschreibungen enthalten sind. Angeknüpft wurde an bereits bestehendes Know-How am Institut für Hochbau und Technologie / Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz sowie seitens des Instituts für Energietechnik und Thermodynamik vor allem an die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt ADRES [Einfalt, 2011][12] sowie aus projektbegleitenden Bachelor- und Projektarbeiten.

Investitionskosten

Um beim Vergleich unterschiedlicher Szenarien zu einer Abschätzung über die unterschiedlichen Kostenstrukturen zu kommen, wurden Funktionen für Investitions- und O&M-Kosten[13] verschiedener Technologien definiert und diese mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Marktdaten parametriert. „Economies of scale“ sind in den Grafiken in den folgenden Unterkapiteln gut ersichtlich. Begonnen wurde zunächst damit, dass umfangreiche Datenerhebungen und erste Vorschläge zu einer methodischen Herangehensweise an die Fragestellung aufgezeigt wurden [Bleiberschnig, 2010]. Beispielhaft ist in Abbildung 80 dargestellt, wie für den Fall von Biomasseheizkesseln und Wärmepumpen zwischen marktüblichen Investitionskosten interpoliert wurde. Dies wurde für alle Systeme zur Umwandlung erneuerbarer Energie durchgeführt. Darauf aufbauend wurden weitere Technologien erfasst, die Methoden weiterentwickelt und Ergebnisse berechnet.

[12] Die in diesem Kapitel dargestellten Rechenansätze wurden darauf aufgesetzt.
[13] Operation and Maintenance Cost; dt: Betriebs- und Instandhaltungskosten



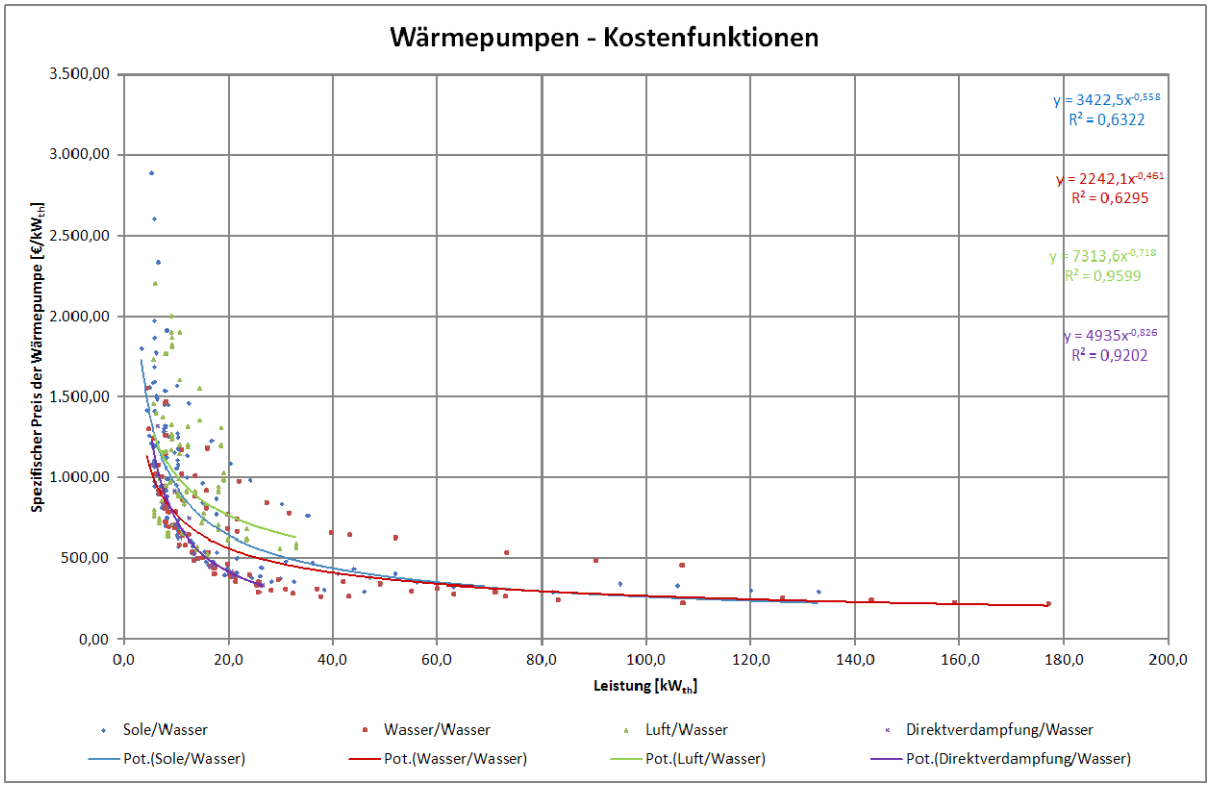


Abbildung 80: Eine Abschätzung des Zusammenhangs zwischen Investitionskosten und thermischer Leistung wurde durch eine Marktanalyse vorgenommen. Die drei Linien im oberen Teil der Abbildung zeigen, in welchem Verhältnis die Investitionskosten von Hackgutanlagen (rot) Pelletskesseln (grün) und Stückholzkesseln (blau) zueinander stehen. Die untere Hälfte zeigt Kostenfunktionen für verschiedene Wärmepumpensysteme.

Als problematisch erweist sich dabei die Tatsache, dass besonders für „jüngere Technologien“ aufgrund ihrer kaum vorhandenen Marktdurchdringung (z.B.: Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung oder Kleinwindkraft) eine Preisfindung nur bedingt möglich ist. Außerdem weisen gerade neue Energiesysteme im Gebäudebereich häufig relativ volatile Endkundenpreise auf. Ein gutes Beispiel dafür sind die massiven Reduktionen der Systemkosten am Photovoltaikmarkt innerhalb der letzten drei Jahre. Diese haben eine mehrmalige Aktualisierung der Modellparameter notwendig gemacht. Daneben sind Kosten und Preise nicht perfekt korreliert.

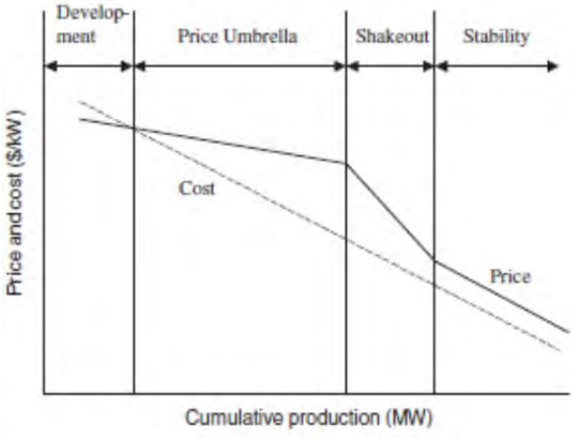


Abbildung 81: Entwicklung von Preisen und Kosten im Zusammenhang mit der kumulierten Produktion (entnommen aus Kobos, P. H. et al, ursprüngliche Konzeption: Boston Consulting Group, 1968).

Für die vorliegende Studie wurde für die spezifischen Investitionskosten der einzelnen Technologien installierter Leistungseinheit folgender Rechenansatz zu Grunde gelegt:

$$k_{Invest} = \max\left\{\frac{K_{Invest,\min}}{P_{nenn}}; AWF * A * {P_{nenn}}^{B}\right\} \quad \text{[€/kW]} \quad (11)$$

wobei P_{nenn} die Nennleistung in [kW], $K_{Invest,min}$ die Mindestinvestition in [€] für eine bestimmte Anlage – unabhängig von der Leistung - darstellt und AWF einen „Aufwandsfaktor“, der standardmäßig auf eins gesetzt werden kann und für den als Default-Wert 0,8 für den „Minimum“-Fall und 1,2 für den „Maximum“-Fall angenommen wird. Die Parameter „A“ und „B“ werden für die einzelnen Technologien passend gewählt. Der Zusammenhang zwischen spezifischen Investitionskosten und der Leistung ist in Abbildung 82 dargestellt. Daneben muss natürlich auch bedacht werden, dass für bestimmte Technologien in Österreich auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene unterschiedliche Förderungen, Beihilfen, zinsfreie Darlehen und Investitionszuschüsse gewährt werden, die die Entscheidungsfindung zur Technologieauswahl ökonomisch beeinflussen.

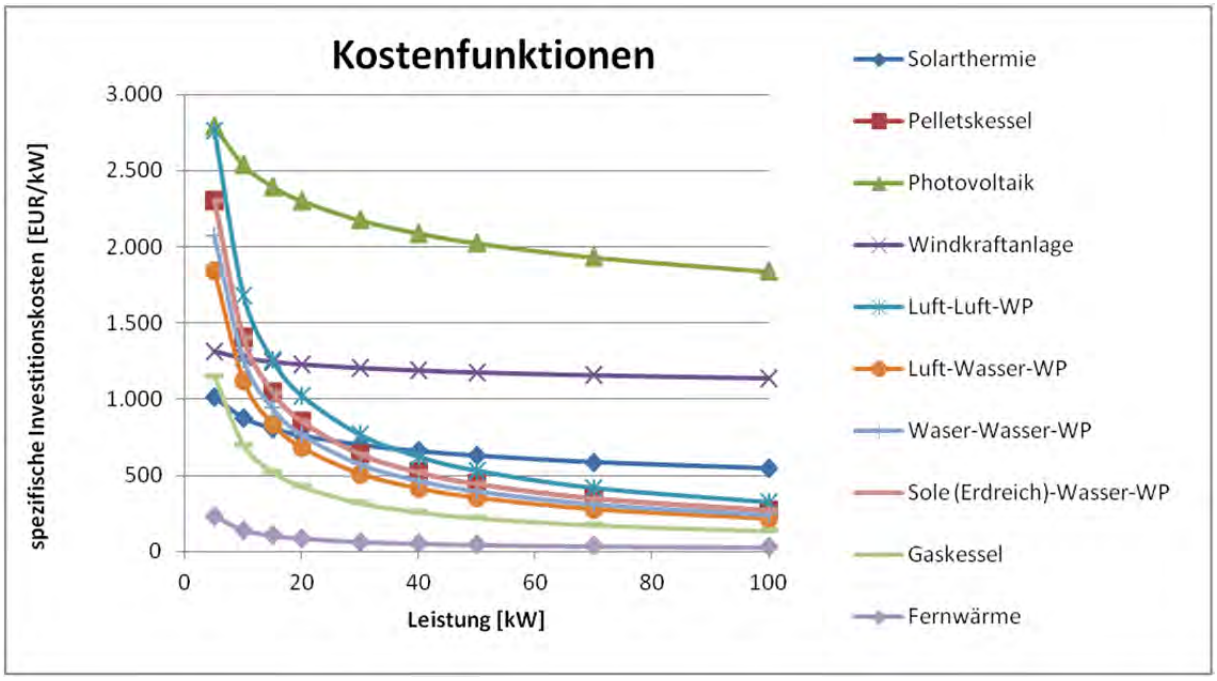


Abbildung 82: Für die in der Studie betrachteten Energiewandler wurden Kostenfunktionen für die Investitionskosten berechnet

Betriebskosten

Die Darstellung der O&M-Kosten folgte dem selben Berechnungsschema, wurde aber in den Fällen, in denen beispielsweise der Hilfsstromverbrauch oder der notwendige Brennstoffbedarf sich als Ergebnis aus den Gebäudesimulationen ergab, bedarfsgerecht angepasst. Die jährlichen Betriebskosten wurden schließlich bis ins Jahr 2050 erfasst und mit den Investitionskosten zu den Gesamtkosten addiert, wobei von einer Diskontierungsrate von 6% p.a. ausgegangen wurde (vgl. Kapitel 4.3). Ein elementarer Bestandteil der Betriebskosten sind die Brennstoff- und die Strompreise. Für die Gesamtkosten ist vor allem die Lebensdauer der Energiebereitstellungstechnologien von entscheidender Bedeutung. Die Lebensdauer sowie die Brennstoff- und Strompreise sind in Tabelle 23 dargestellt. Insbesondere die Diskontrate und die angenommene Lebensdauer haben einen starken Einfluss auf die erzielbaren Ergebnisse.

Tabelle 23: Brennstoff- und Strompreise sowie die Lebensdauer von Energiebereitstellungstechnologien; Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Statistik Austria und ProPellets Austria

Technologie zur Energiebereitstellung	Brutto Brennstoff- bzw. Strompreise [ct/kWh]	Lebensdauer[14] [a]	Annahmen zur maximal möglichen Förderung zum Startzeitpunkt [%][15]
Gaskessel	6,15 ct	28	-
Fernwärme	6,80 ct	-	-
Pelletkessel	4,57 ct	28	50
Wärmepumpe	19,45 ct Haushalte 10,54 ct Industrie und Gewerbe	20	50
Solarthermie	-	28	50
Photovoltaik	10 ct Netzeinspeisung	25	50
Kleinwindkraft	10 ct Netzeinspeisung	20	-

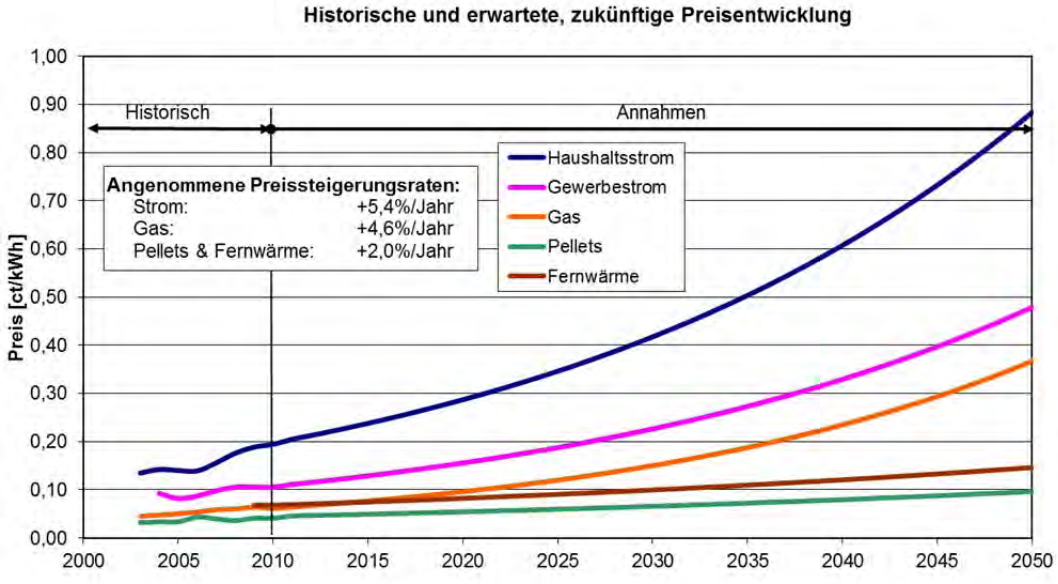


Abbildung 83: Historische und erwartete, zukünftige Entwicklung der Brennstoff- und Strompreise; Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Statistik Austria und ProPellets Austria

[14] Die Angaben zur Lebensdauer der genannten Technologien reichen in der Fachliteratur von 18 bis 36 Jahren.

[15] Die tatsächliche Förderung ist abhängig vom Standort, da es neben Bundesförderungen auch Landes- und teilweise sogar Gemeindeförderungen für erneuerbare Energietechnologien gibt. Für Reinvestitionen nach Ablauf der Lebensdauer werden keine Förderungen berücksichtigt.

Technologiediffusion und Lernrate

Mit zunehmender Marktreife erlangen Produkte mehr und mehr Marktanteile. Anhand von Verkaufszahlen und den installierten Einheiten einer bestimmten Technologie lässt sich die Technologiediffusion abschätzen. Daneben kann auch die Lernrate Aufschluss über Entwicklungspotentiale anhand der Erfahrungskurven liefern. *„Das Konzept der Erfahrungskurven besagt, dass die inflationsbereinigten (realen) Stückkosten konstant sinken, wenn sich die kumulierte Ausbringungsmenge (Produktionsmenge) erhöht. Die erreichbare Kostenreduktion bei Verdopplung der kumulierten Produktion wird als Fortschrittsrate f bezeichnet (bei f = 0,9 sinken die Kosten bei einer Verdopplung der kumulierten Produktion um 10 %). Gemäß dieser Definition werden Erfahrungskurven vor allem dafür herangezogen, um zukünftige Produktionskosten basierend auf erwartete Ausbringungsmengen abzuschätzen“* (siehe Bointner et al, 2012). Dieser Zusammenhang lässt sich mit folgender Formel ausdrücken:

$$C_x = C_0 \cdot \frac{P_x}{P_0}^{\frac{\log f}{\log 2}} \quad \text{[EUR]} \qquad (12)$$

mit

C_X	spezifische Kosten zum Zeitpunkt X
C_0	spezifische Kosten zum Zeitpunkt 0
P_X	kumulierte Produktion zum Zeitpunkt X
P_0	kumulierte Produktion zum Zeitpunkt 0
f	Fortschrittsrate (Lernrate = 1- *f)*

In den folgenden Unterkapiteln sind zu den einzelnen Technologien nähere Informationen zu deren bisheriger Entwicklung angegeben. Die zukünftige Entwicklung von Technologien zur Energiebereitstellung im Gebäudesektor lässt sich anhand von Abbildung 84 für Österreich bis 2030 und Abbildung 85 für die EU-27 bis 2020 abschätzen.

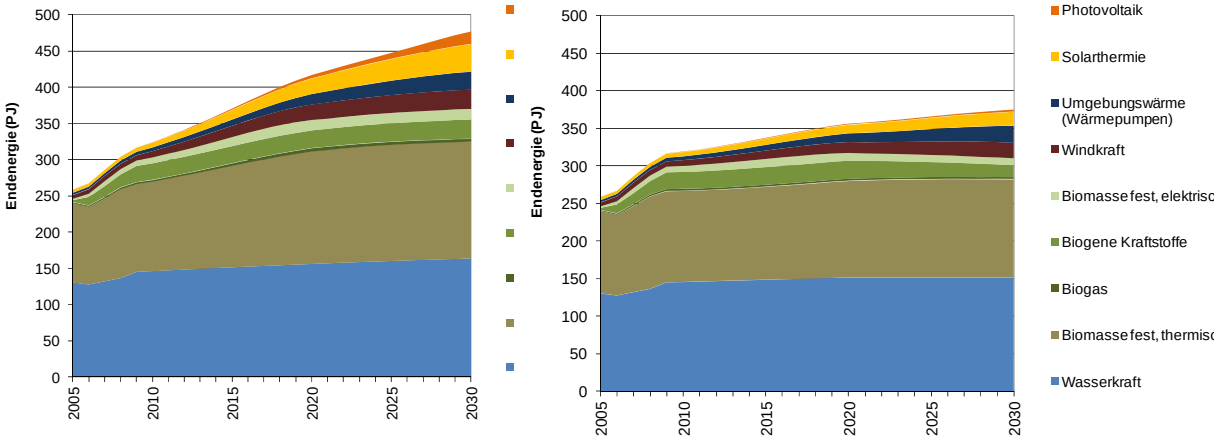


Abbildung 84: Szenarien als Ausgangspunkt für mögliche Marktentwicklungen erneuerbarer Energie-Technologien in Österreich (links: ambitionierte Marktentwicklung, rechts: moderate Marktentwicklung). Quelle: Bointner et al, 2012

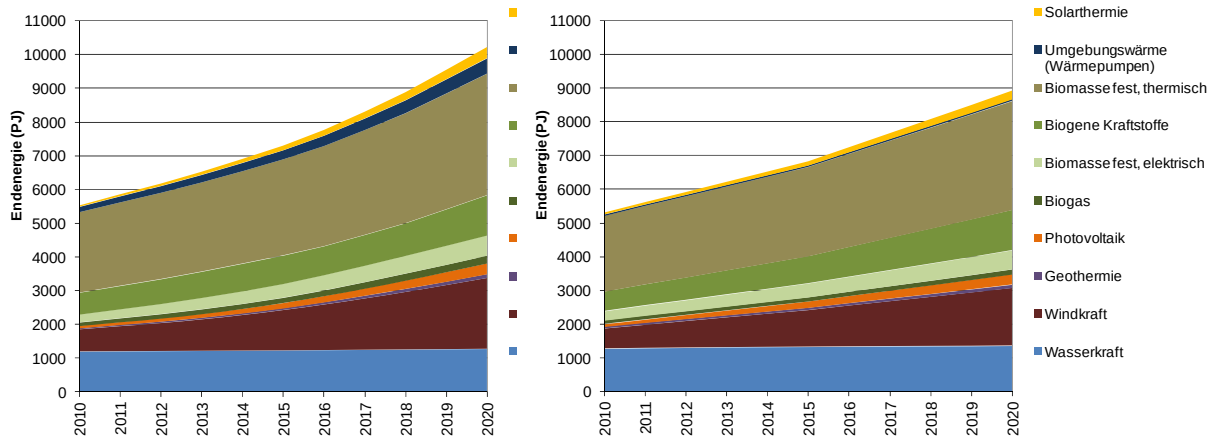


Abbildung 85: Szenarien als Ausgangspunkt für mögliche Marktentwicklungen erneuerbarer Energie-Technologien in der EU-27[16] (links: ambitionierte Marktentwicklung, rechts: moderate Marktentwicklung). Quelle: Bointner et al, 2012

Es dominieren natürlich solche Technologien, die eine hohe Marktreife aufweisen. Langfristig, bis 2050, können natürlich auch Technologien, die heute noch nicht ausgereift sind oder auch solche, die zwar zum „Stand der Technik" gerechnet werden können jedoch noch eine schwächere Marktdurchdringung aufweisen, wie beispielsweise die Photovoltaik, eine große Rolle spielen. Die Preisänderung, die maßgeblich für die Bestimmung der Reinvestitionskosten nach Ablauf der Lebensdauer der Energiebereitstellungstechnologien ist, ist in folgender Abbildung dargestellt. Nennenswerte Preisreduktionspotentiale weisen insbesonders die Solarthermie und die Photovoltaik auf. Zu berücksichtigen ist allerdings die Abhängigkeit der tatsächlichen Preise zum Reinvestitionszeitpunkt von der Anlagenleistung und dem Ausgangsniveau der spezifischen Investitionskosten (siehe Seite 178ff).

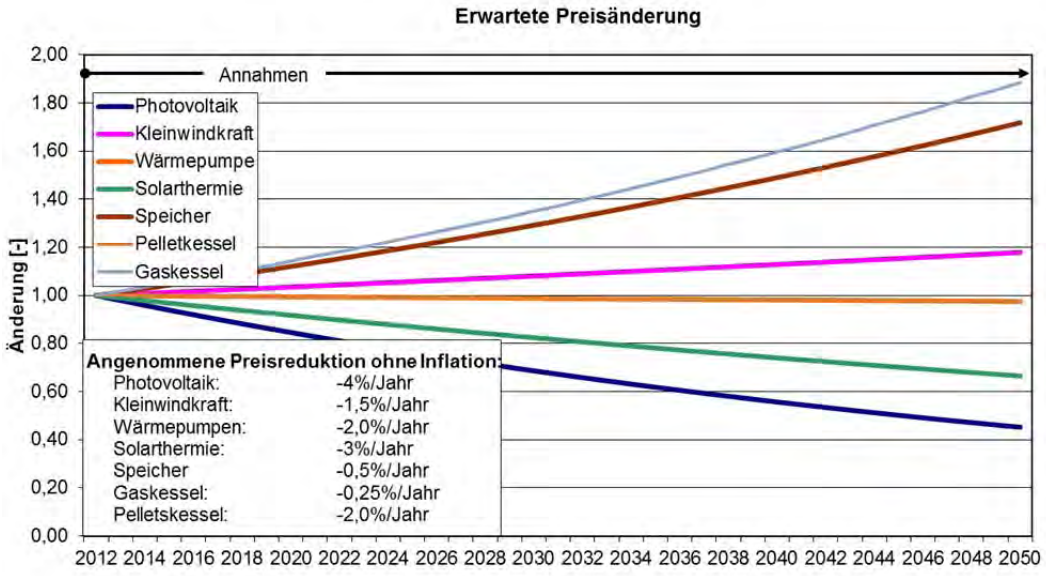


Abbildung 86: Erwartete Preisänderung von Energiebereitstellungstechnologien in Gebäuden zur Bestimmung der Reinvestitionskosten unter Berücksichtigung der Inflationsrate

[16] Da der Startwert der Modellrechnungen vor 2010 liegt, kommt es zu Abweichungen zwischen den beiden Szenarien bereits im Jahr 2010.

Ökologie

Die ökologischen Aspekte der Herstellungsprozesse der einzelnen Energiewandler wurden auf Basis des Global Warming Potential (GWP), des Versauerungspotentials (AP) und des Primärenergieinhalts (PEI) analysiert (vgl. Kapitel 6.3). Das Thema wurde durch eine Projektarbeit vorbereitet, in der insgesamt ca. eintausend Datensätze zu verschiedenen Werkstoffen aus zahlreichen Quellen herangezogen wurden und aus den gefundenen Wertebereichen geeignete Mittelwerte für die vorliegenden Arbeit übernommen wurden [Aichinger, 2011].

Dazu wurden, unter Berücksichtigung der technologischen Aspekte der einzelnen Systeme, Fertigungszuschläge addiert. Das Ende des Lebenszyklus, d.h. die Wiederverwendung bzw. Wiederverwertung der Systeme, wurde insoweit berücksichtigt, als in einigen Fällen nicht mit Primär- sondern mit Sekundär- bzw. Mix-Materialien gerechnet wurde. Das Thema der mengenmäßigen Erfassung der tatsächlichen Verwertung erschließt sich aber besonders im Falle der jungen Technologien kaum einer seriösen Betrachtung, weil Recyclingtechnologien erst im Entstehen sind bzw. überhaupt erst dann entstehen werden, wenn Abfallmengen im industriellen Maßstab anfallen. Während nämlich beispielsweise das Verwerten eines Biomassekessels keiner besonderen Expertise bedarf und als „Stand der Technik“ angesehen werden kann, laufen insbesondere in Deutschland bereits einige Forschungsprojekte, die sich etwa mit dem Recycling von Photovoltaiksystemen auseinandersetzen ([BINE, 2011], [Sander, 2004], [Behrendt, 2010] usw.).

Bei der Anwendung der oben genannten Parameter zur Beurteilung der ökologischen Effekte einzelner Technologien ist folgendes zu berücksichtigen: Die Berechnung mit diesen Methoden stellt lediglich eine Momentanaufnahme dar und berücksichtigt nicht, dass der Einsatz regenerativer Energie-Technologien innerhalb der Systemgrenze, in der ein bestimmtes Energiebereitstellungssystem produziert wird, die spezifischen Emissionsfaktoren reduziert. Das bedeutet beispielsweise, dass die Inbetriebnahme einer Photovoltaikanlage dazu führt, dass die nächste Produktionscharge an Modulen und Zubehör bereits mit einem niedrigeren CO_2-Faktor hergestellt wird, sofern sich Einsatzort und Produktionsstandort innerhalb derselben Bilanzgrenze befinden. Eine detaillierte Darstellung, wie sich der Produktionsstandort einer Anlage im Lichte unterschiedlicher Emissionsfaktoren in verschiedenen Ländern auf deren Ökobilanz auswirkt, bietet etwa [Wild-Scholten, 2011]. Festzuhalten ist, dass der Einsatz regenerativer Energie-Technologien prinzipiell immer zu einer Verbesserung der materialbezogenen Emissionsfaktoren führt. Langfristig werden die Emissionsfaktoren für den regionalen „Energiemix“ auch dann gesenkt, wenn die Anlagen zunächst mit fossilen Energieformen produziert wurden.

Weiters gibt eine isolierte Betrachtung einzelner Emissionsfaktoren noch keine Antwort darauf, ob der Einsatz einer bestimmten Technologie zur Erreichung bestimmter Ziele oder zur Einhaltung eines bestimmten Zielpfades (z.B. EU 2050-Ziele) zweckdienlich ist. So kann etwa der Ersatz eines alten durch ein effizientes Erdgas-Brennwert-Gerät dafür geeignet sein, die CO_2-Emissionen in einem lokalen Energiesystem kurzfristig zu senken. Gleichzeitig kann diese Maßnahme aber für die Erreichung eines mittelfristigen Emissionsziels hinderlich

sein, weil Umrüstzeiten im Heizungsbereich üblicher Weise zwischen 20 und 50 Jahren liegen. Dieser Zusammenhang wird in der Energiewirtschaft als „Lock-In“-Effekt bezeichnet. Deshalb stellt die Berechnung der oben angesprochenen Parameter nur eine Orientierungshilfe dar und bietet eine Vergleichsmöglichkeit innerhalb der erneuerbaren Energieformen.

6.6.1. Biomasse-Heizkessel

Beim Einsatz von Biomasse im Gebäudebereich sind vor allem Hackschnitzel- und Pelletsfeuerungen als aussichtsreiche Vertreter dieser Energiewandler zu nennen. Es handelt sich dabei um weitestgehend ausgereifte und günstige Technologien mit relativ geringem Wartungsaufwand und niedrigen (bzw. je nach Bilanzgrenze: keinen) CO_2-Emissionen. Es wird allerdings Lagerraum für den Brennstoff und idealerweise auch Platz für einen thermischen Speicher benötigt. Aus energetischer Sicht ist die hohe Temperaturdifferenz zwischen Verbrennungs- und Nutzungsniveau als kritisch zu betrachten und nach Möglichkeit ist eine zukünftige Nebennutzung der Energie anzustreben, z. B. Stromproduktion mittels KWK.

6.6.1.1. Energie

Die bestehenden Modelle aus den Projekten ADRES[17], ÖNORM+[18], aus einer Bachelorarbeit zu diesem Thema [Salcher, 2010] sowie einem Bericht [Huber-Fauland, 2010] wurden herangezogen und für die Ansprüche dieser Arbeit adaptiert. Insbesondere wurden alle Energiebilanzen auf Stundenbasis errechnet. Dabei wurde von folgenden vereinfachenden **Grundannahmen** ausgegangen:

- Die thermische Energie, die vom Kessel in der Mindestlaufzeit (einer Stunde) geliefert wird, kann von einem Speicher oder vom Verbraucher immer aufgenommen werden, sofern für die betreffende Stunde das Kesselanforderungssignal aktiv ist.
- Der Kessel arbeitet nicht im Teillastbetrieb.

Sofern für einen bestimmten Kesseltyp keine genaueren Daten aus Prüfstandsprotokollen oder Datenblättern bekannt sind, wurde angenommen:

- Der Wasserinhalt V_{Wass} des Kessels steigt logarithmisch mit der Nennleistung gemäß der Formel:

$$V_{Wass} = \begin{cases} 30,000 \\ 53,533 * \ln\left(\frac{P_{nenn}[kW]}{1[kW]}\right) - 74,678 \end{cases} \begin{cases} P_{nenn} < 8[kW] \\ sonst \end{cases} \quad [L] \qquad (13)$$

- Die Masse des Kesselkörpers (Kesselstahl) m_{Kess} errechnet sich gemäß der Formel:

$$m_{Kess} = \begin{cases} 210 \\ 344,85 * \ln\left(\frac{P_{nenn}[kW]}{1[kW]}\right) - 679,77 \end{cases} \begin{cases} P_{nenn} < 8[kW] \\ sonst \end{cases} \quad [L] \qquad (14)$$

[17] „ÖNORM+-Energie“; FFG-Projekt-Nummer 822211
[18] vgl. [Einfalt, 2010]

- Die effektive **Wärmekapazität Cp des Kessels** errechnet sich dann daraus wie folgt:

$$C_p = V_{Wass}[m^3] * \rho_w \left[\frac{kg}{m^3}\right] * c_{p,w}\left[\frac{J}{kg*K}\right] + m_{Kess}[kg] * c_{p,St}\left[\frac{J}{kg*K}\right] \quad [J/K] \quad (15)$$

- Die **Restglutleistung** beträgt in der ersten Stunde nach Abfall des Anforderungssignals ein Zehntel der Kesselnennleistung, jedoch mindestens 0,2 [kW], in der zweiten Stunde ein Viertel der Leistung in der ersten Stunde und wird danach vernachlässigt.
- Die **thermische Verlustleistung an den Aufstellraum** aufgrund von Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion beträgt:

$$P_{Verlust,Aufstellraum} = U_{Kess}\left[\frac{W}{K}\right] * \left(\theta_{Kessel} - \theta_{Raum}\right)[K] \quad [W] \quad (16)$$

mit

$$U_{Kess} = MAX\,(5;10{,}9853746 * \ln(\frac{P_{nenn}[kW]}{1[kW]}) - 16{,}4548525) \quad [W/K] \quad (17)$$

- Die **Rauchgasverluste** werden analog abgeschätzt:

$$P_{Verlust,Rauchgas} = VBW_{Rauchgas}\left[\frac{W}{K}\right] * \left(\theta_{Kessel} - \theta_{Raum}\right)[K] \quad [W] \quad (18)$$

Mit dem „Rauchgas-Verlustbeiwert“ $VBW_{Rauchgas}$

$$VBW_{Rauchgas} = MAX\,(3{,}5;10{,}15215 * \ln(\frac{P_{nenn}[kW]}{1[kW]}) - 15{,}46542) \quad [W/K] \quad (19)$$

- Der **elektrische „Standby“-Bedarf** wird für Kessel aller Leistungsklassen pauschal mit 25 W angenommen.
- Der **elektrische Zündenergiebedarf** für einen „Kaltstart“, das heißt für den Fall, dass keine Restglut vorhanden ist, beträgt

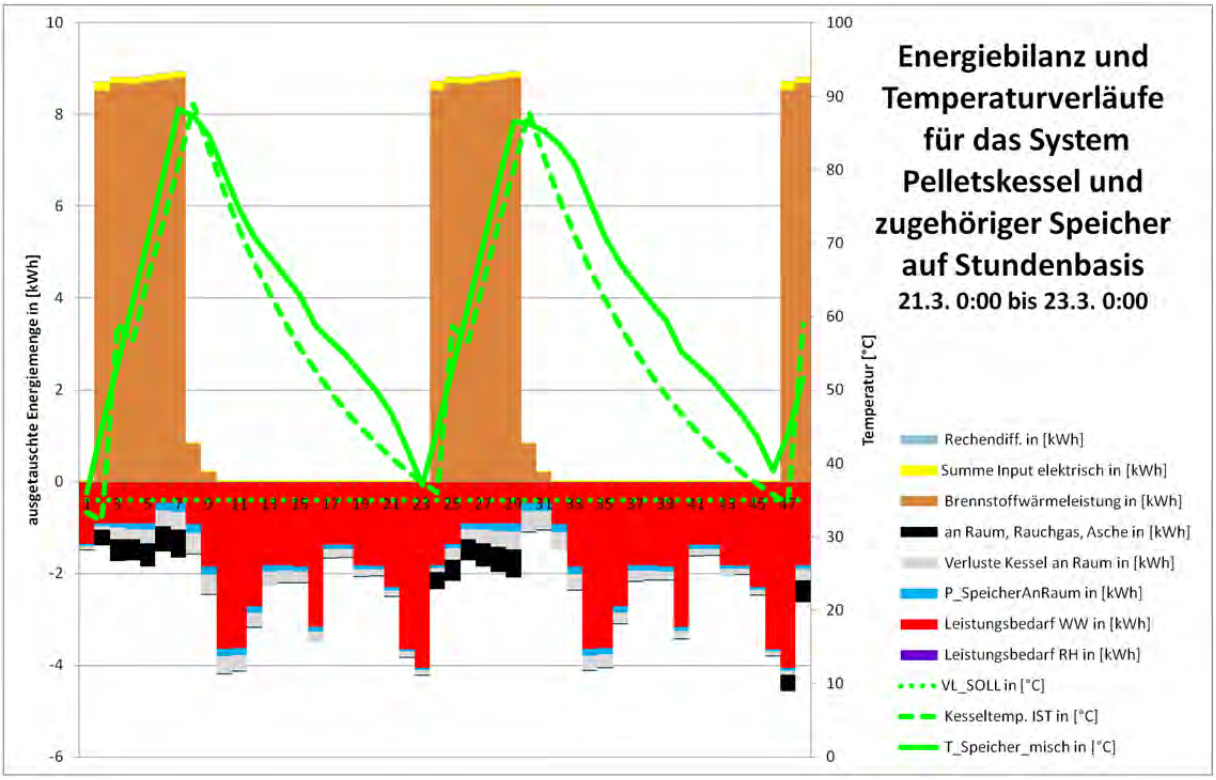
$$E_{Zünd,elektrisch} = MAX\,(0{,}05;0{,}00155 * \ln(\frac{P_{nenn}[kW]}{1[kW]}) + 0{,}04454) \quad [kWh] \quad (20)$$

- Die **elektrische Leistung für Antriebe und Ventilatoren** beträgt im kontinuierlichen Volllastbetrieb:

$$P_{A\&V,elektrisch} = MAX\,(80;55{,}957 * \ln(\frac{P_{nenn}[kW]}{1[kW]}) - 9{,}5313) \quad [W] \quad (21)$$

- Der zusätzliche elektrische Energiebedarf für einen **Neustart aus dem Gluterhaltungsbetrieb** gegenüber dem kontinuierlichen Betrieb wird vernachlässigt.
- Der dem Pelletskessel zugeordnete **Speicher** gibt eine thermische Leistung ab, die proportional mit der Temperaturdifferenz zwischen der Mischtemperatur des Speichers und dem Aufstellungsraum steigt.[19]

In der folgenden Seite ist dargestellt, welche Ergebnisse das Modell für einen Referenzfall liefert: Der zeitliche Verlauf des Betriebseinsatzes ist in der folgenden, dreiteiligen Abbildung für jeweils 48 Stunden beispielhaft dargestellt. Auf der senkrechten, linken Achse sind dabei die thermischen und elektrischen „Inputs“ als positive Werte und die Verluste und Nutzenergiebeträge als negative Werte aufgetragen. In der Jahressumme ergibt sich dabei, bis auf kurzfristige Speichereffekte, Flächengleichheit über und unter der Achse.


Energiebilanz und Temperaturverläufe für das System Pelletskessel und zugehöriger Speicher auf Stundenbasis
21.3. 0:00 bis 23.3. 0:00
ausgetauschte Energiemenge in [kWh]
Temperatur [°C]
Rechendiff. in [kWh]
Summe Input elektrisch in [kWh]
Brennstoffwärmeleistung in [kWh]
an Raum, Rauchgas, Asche in [kWh]
Verluste Kessel an Raum in [kWh]
P_SpeicherAnRaum in [kWh]
Leistungsbedarf WW in [kWh]
Leistungsbedarf RH in [kWh]
VL_SOLL in [°C]
Kesseltemp. IST in [°C]
T_Speicher_misch in [°C]

[19] Der Speicher dient im praktischen Einsatz der Reduktion von Taktzyklen. Dadurch kann im Allgemeinen von einer Erhöhung der Lebensdauer der Kessel und von einer drastischen Reduktion der Kesselemissionen ausgegangen werden (vgl. [Konersmann, 2007], [Streicher, 2006] usw.). Da außerdem das für den Pelletkessel vorgesehene Volumen prinzipiell auch für eine Solarthermie-Anlage genutzt werden kann und Pelletkessel häufig in Kombination mit solarthermischen Systemen installiert werden, erscheint der Einsatz eines Pufferspeichers in den meisten Fällen gerechtfertigt. Einige Hersteller von Pelletskesseln empfehlen allerdings mittlerweile auf einen dem Kessel zugeordneten Speicher zu verzichten. Eine Beurteilung, ob diese Empfehlung lediglich aus marktstrategischen Gründen oder aufgrund von Verbesserungen auf technologischer Ebene vorgenommen wird, wurde im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen.

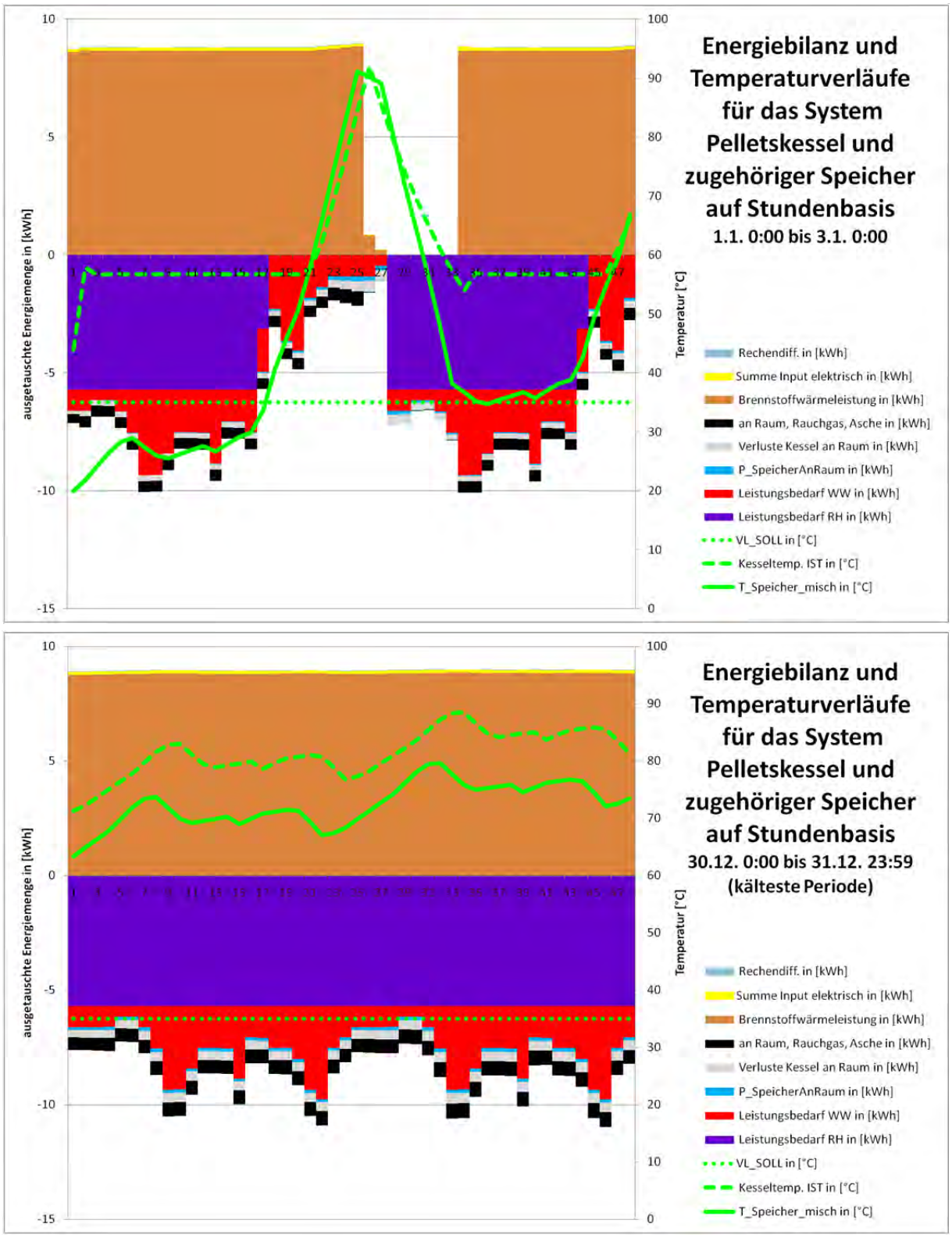
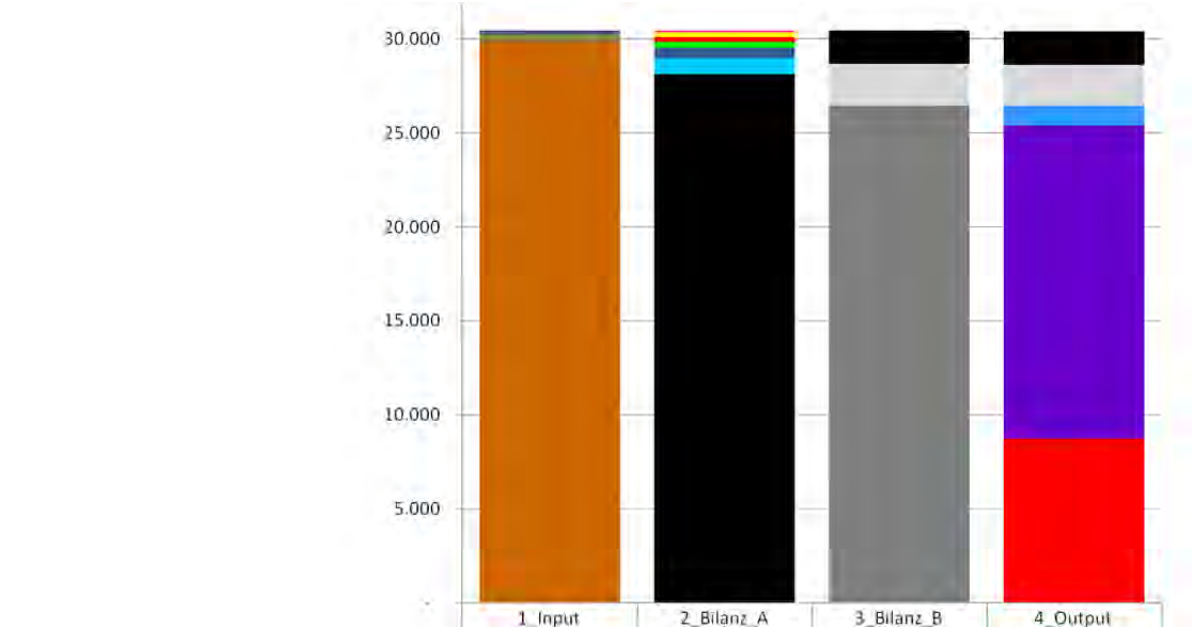

Energiebilanz und Temperaturverläufe für das System Pelletskessel und zugehöriger Speicher auf Stundenbasis
1.1. 0:00 bis 3.1. 0:00
ausgetauschte Energiemenge in [kWh]
Temperatur [°C]
Rechendiff. in [kWh]
Summe Input elektrisch in [kWh]
Brennstoffwärmeleistung in [kWh]
an Raum, Rauchgas, Asche in [kWh]
Verluste Kessel an Raum in [kWh]
P_SpeicherAnRaum in [kWh]
Leistungsbedarf WW in [kWh]
Leistungsbedarf RH in [kWh]
VL_SOLL in [°C]
Kesseltemp. IST in [°C]
T_Speicher_misch in [°C]
Energiebilanz und Temperaturverläufe für das System Pelletskessel und zugehöriger Speicher auf Stundenbasis
30.12. 0:00 bis 31.12. 23:59
(kälteste Periode)
ausgetauschte Energiemenge in [kWh]
Temperatur [°C]
Rechendiff. in [kWh]
Summe Input elektrisch in [kWh]
Brennstoffwärmeleistung in [kWh]
an Raum, Rauchgas, Asche in [kWh]
Verluste Kessel an Raum in [kWh]
P_SpeicherAnRaum in [kWh]
Leistungsbedarf WW in [kWh]
Leistungsbedarf RH in [kWh]
VL_SOLL in [°C]
Kesseltemp. IST in [°C]
T_Speicher_misch in [°C]

Abbildung 87: zeitlicher Verlauf für je zwei Tage in unterschiedlichen Jahreszeiten

Als Endergebnis der Pelletskessel-Jahressimulation wird eine kumulative Energiebilanz wie in Abbildung 88 dargestellt ausgegeben. Diese wurde zum besseren Verständnis für einen Referenzfall manuell in ein Energie-Mengenflussbild (Abbildung 89) übergeführt. Aus den im Betrieb insgesamt zugeführten elektrischen Energiemenge und dem kumulierten Brennstoffmassenstrom errechnen sich mit Hilfe der zugehörigen Emissionsfaktoren die

CO_2-Emissionen wie in Abbildung 91 beispielhaft dargestellt. Die Endenergie lässt sich ebenso mit Hilfe passender Konversionsfaktoren in den Primärenergieaufwand umrechnen (Abbildung 90).



	1_Input	2_Bilanz_A	3_Bilanz_B	4_Output
Speichereffekte [kWh]				46
integr. Leistungan Raum, Rauchgas, Asche in [kWh]				1.794
integr. Verluste Kessel an Raum in [kWh]				2.192
integr. P_SpeicherAnRaum in [kWh]				1.038
integr.Leistungsbedarf WW in [kWh]				16.616
integr.Leistungsbedarf RH in [kWh]				8.768
integr. Leistungan Raum, Rauchgas, Asche in [kWh]			1.794	
integr. Verluste Kessel an Raum in [kWh]			2.192	
integr.Kess._an_Speicher in [kWh]			26.469	
integr.El. an Rauchgas in [kWh]		134		
integr.El. an Raum in [kWh]		231		
integr.El. an Kessel in [kWh]		240		
integr.Restglutleistung in [kWh]		322		
integr.unvollst. Verbr (im Betrieb) in [kWh]		562		
integr.Rauchgasverluste Kessel (im Betrieb) in [kWh]		866		
integr.Kesselwärmeleistung in [kWh]		28.099		
integr.el. Standby in [kWh]	219			
integr.Antriebe und Ventilatoren in [kWh]	369			
integr.Zündung in [kWh]	18			
integr.Brennstoffwärmeleistung in [kWh]	29.849			

Abbildung 88: Energiebilanz über die einzelnen Abschnitte eines einfachen Pelletskessel-Speichersystems für ein Referenzjahr aus MS-Excel mit den Bilanzgrenzen, die auch in der folgenden Abbildung angegeben sind

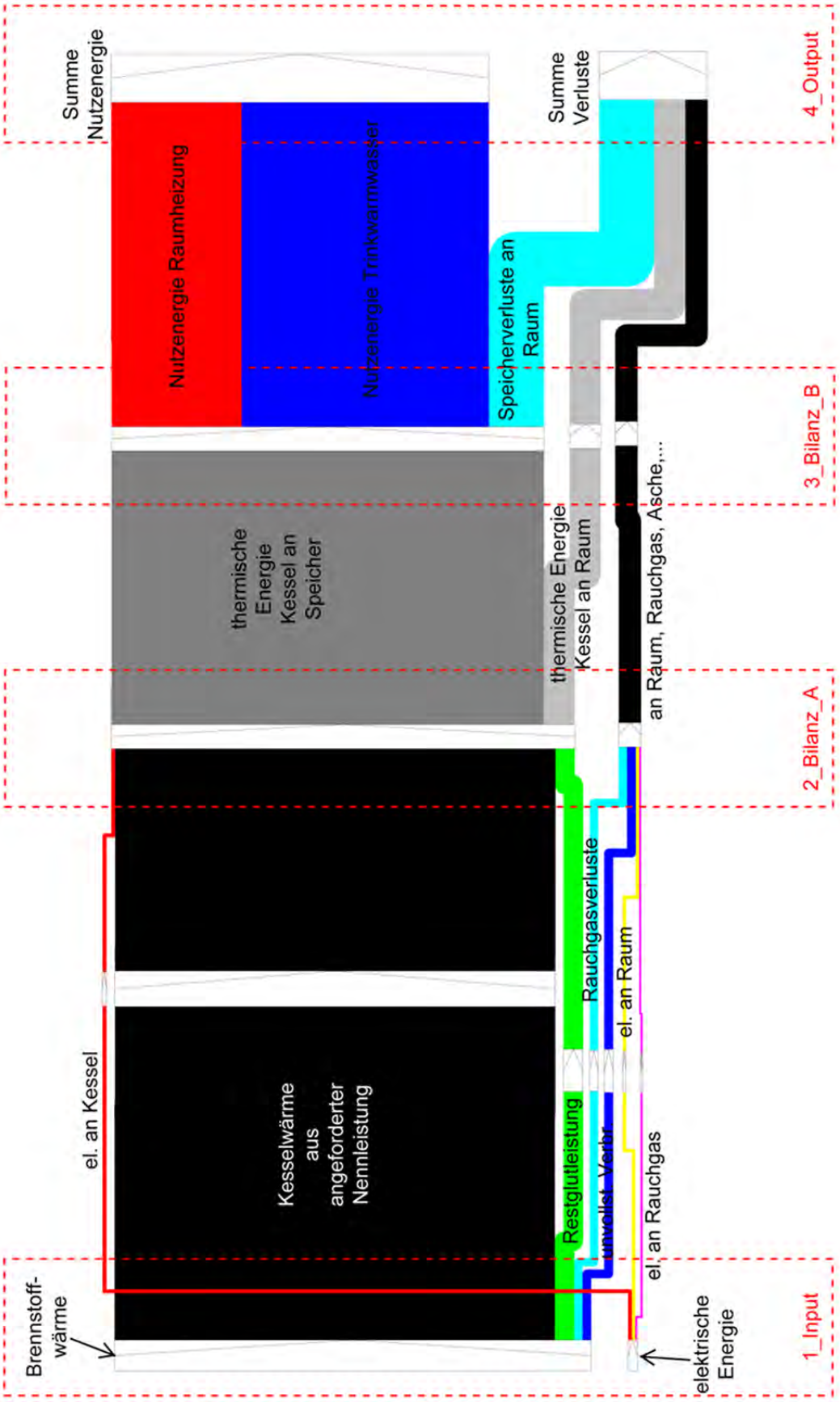


Abbildung 89: Diese Energie-Mengenflussbild-Darstellung soll die Bilanzierungsgrenzen und ungefähre quantitative Verhältnisse illustrieren.

Eine Festlegung, ob die eingesetzte elektrische Energie für Zündung, Antriebe und Ventilatoren bzw. elektrischen Standby-Aufwand bilanztechnisch dem Kessel, dem Aufstellraum oder dem Rauchgas zu Gute kommt, erfolgte gemäß der folgenden Tabelle. Für diese Zuordnung wurden Default-Werte angenommen, die in den Berechnungen variiert werden können:

elektr. Energie	an Kessel	an Raum	an Rauchgas
Zündung	50%	0%	50%
Antriebe und Ventilatoren	33%	33%	34%
el. Standby	50%	50%	0%

Der daraus resultierende Energie-Mengenfluss für eine Jahressimulation ist beispielhaft in der nächsten Abbildung dargestellt. Quantitativ hat diese Zuordnung bei einer dem Stand der Technik entsprechenden Kesseldimensionierung nur geringe Auswirkungen auf die Gesamtbilanz.

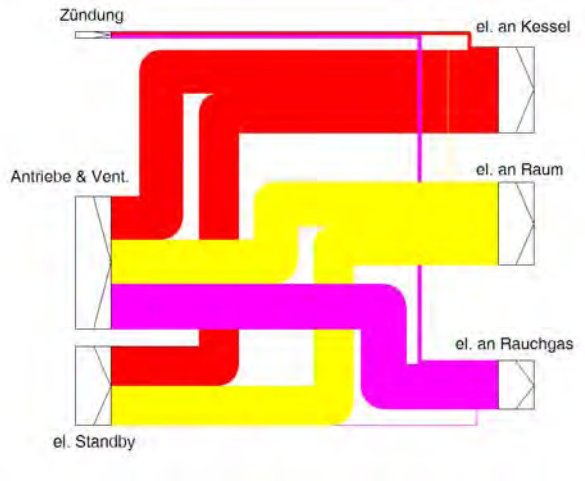


Abbildung 90: Zuordnung der elektrischen Energiemengen, Ausschnitt aus Abbildung 89

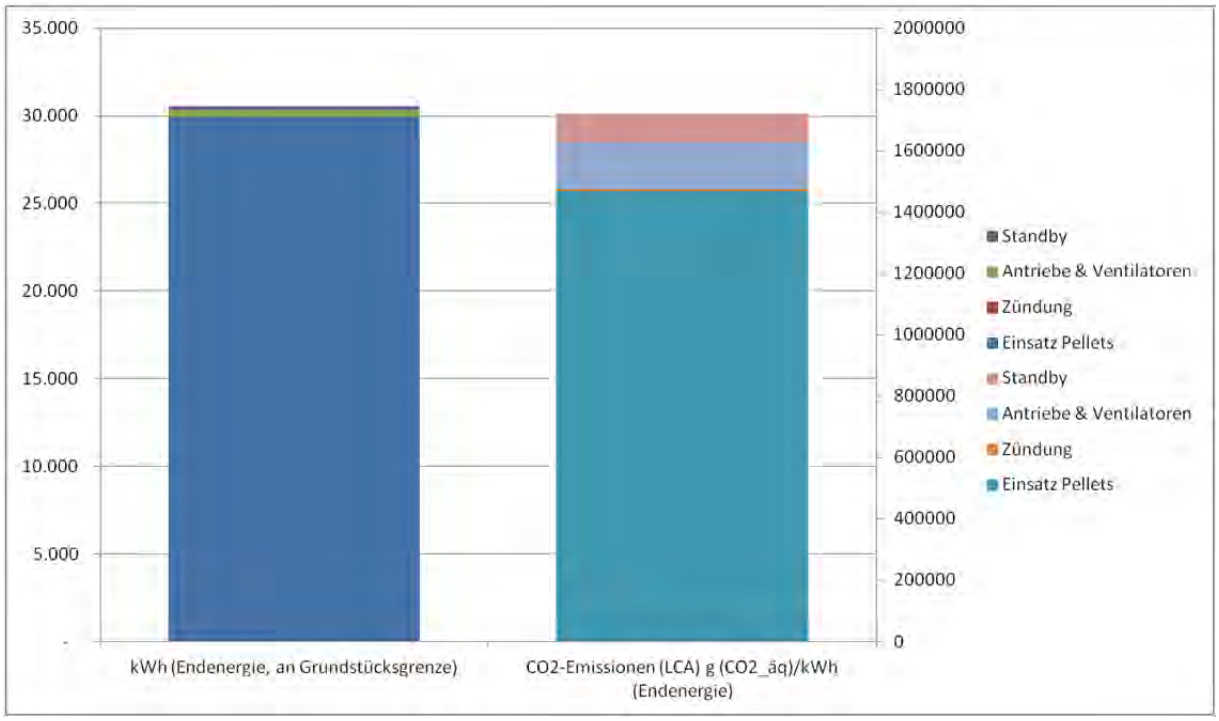


Abbildung 91: Bei richtiger Auslegung der Kesselanlage ist der Aufwand an elektrischer Energie im Vergleich mit dem Gesamtenergieaufwand nahezu zu vernachlässigen; die relativ höheren Anteile an CO_2-Emissionen sind ein Resultat daraus, dass elektrische Energie einen deutlich höheren Emissionsfaktor aufweist als thermische Energie aus Holzpellets.

6.6.1.2. Ökologie

Für die Berechnung des „Global Warming Potentials“, des Versäuerungspotentials und des Primärenergieaufwandes wurde zunächst Formel (7) herangezogen, um einen Ausgangwert für die Kesselmasse zu erhalten. Es wurde davon ausgegangen, dass der Kessel zu 35% aus hochlegiertem Stahl, zu 60% aus unlegiertem Stahl und 5% aus Dämmstoff besteht. Mit Hilfe der schon erwähnten Daten zur Grauen Energie für verschiedene Werkstoffe und zuzüglich 18% Fertigungszuschlag und 20% Zuschlag für Fördertechnik und Lager wurde die Berechnung vorgenommen, woraus sich für einen Pelletskessel mit 90 kW thermischer Leistung und 872 kg Kesselmasse die in der folgenden Abbildung dargestellten Effekte für die Herstellung ergeben.

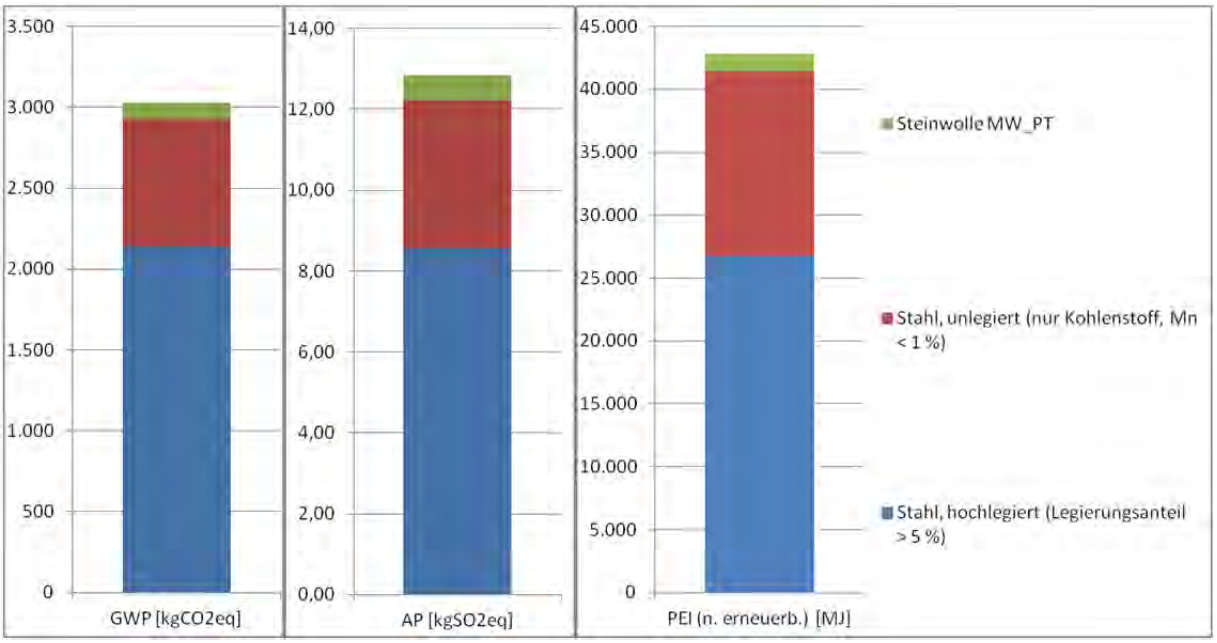


Abbildung 92: Für die Herstellung eines Pelletskessels mit 90 kW Leistung errechnen sich die dargestellten Beträge für GWP, AP und PEI

6.6.1.3. Technologiediffusion

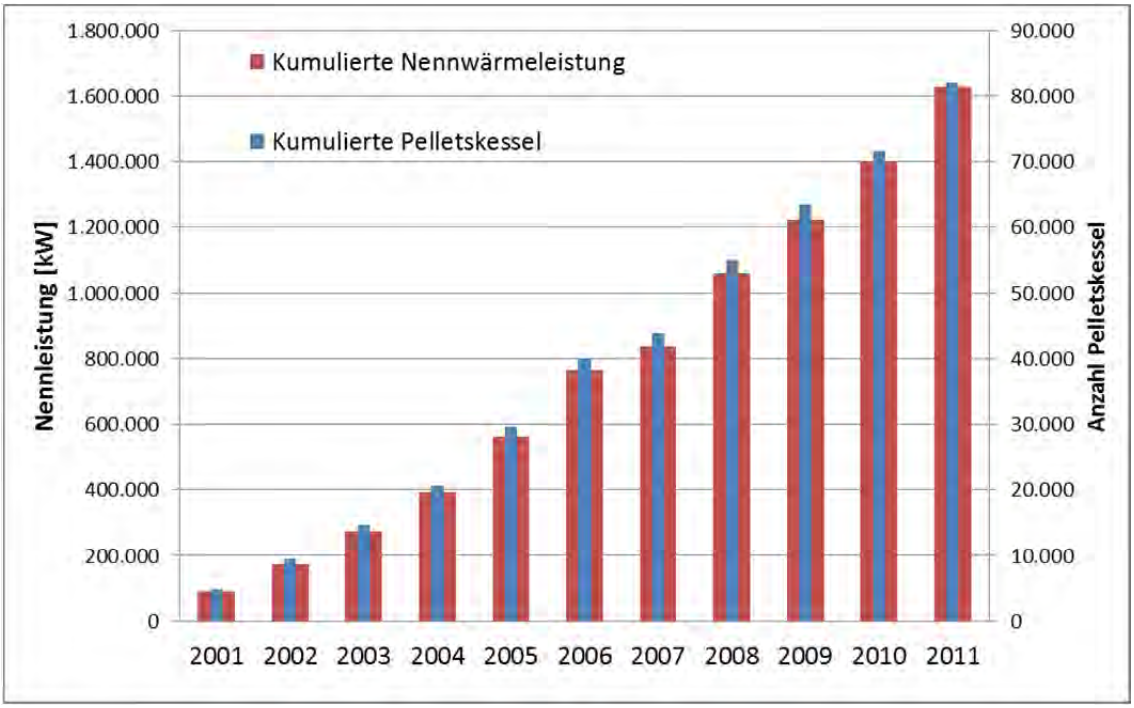


Abbildung 93: Installierte Pelletskessel in Österreich; Quelle: Eigene Darstellung, Daten von Biermayr et al, 2012

Pelletskessel nehmen einen zunehmenden Platz im Wärmesektor ein und die Technologie ist weitgehend ausgereift. Somit ist davon auszugehen, dass Pelletskessel auch in Zukunft weitere Verbreitung zur Bereitstellung von Raumwärme finden werden. Zu bedenken ist aber, dass dies auch auf ökologisch nachhaltiger Basis geschehen soll.

6.6.2. Fernwärme

Da Fernwärme gerade in urbanen Regionen eine besondere Bedeutung für die Versorgung mit thermischer Energie erlangt hat, wurde auch diese Energieform näher betrachtet.

6.6.2.1. Energie

Die Berechnung der Energiebilanz für die Fernwärmenutzung erfolgt vergleichsweise einfach. Es wird von 5% Verlusten an der Wärmeübergabestation ausgegangen. Alle anderen Verluste, etwa die Transportverluste zwischen Heiz(kraft)werk und Verbraucher und insbesondere die Verluste innerhalb des Wärmeerzeugers liegen außerhalb der Betrachtungsgrenze, weil deren Einbeziehung die Anzahl der Varianten über ein vertretbares Ausmaß hinaus erhöht hätte. Diese Effekte fließen über die entsprechenden Emissions- und Konversionsfaktoren und bei der Ökobilanz auch für den Betrieb ein.

6.6.2.2. Ökologie

Bei der Bilanzierung des ökologischen Installations-Aufwandes wird für das Beispiel einer Fernwärme-Übergabestation mit einer thermischen Leistung von 80 kW, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, von einer Gesamtmasse von 35 kg ausgegangen. Die berechnete Fernwärmestation setzt sich dabei aus Stahl, Aluminium, Kupfer, Zinn und Kunststoff zusammen.

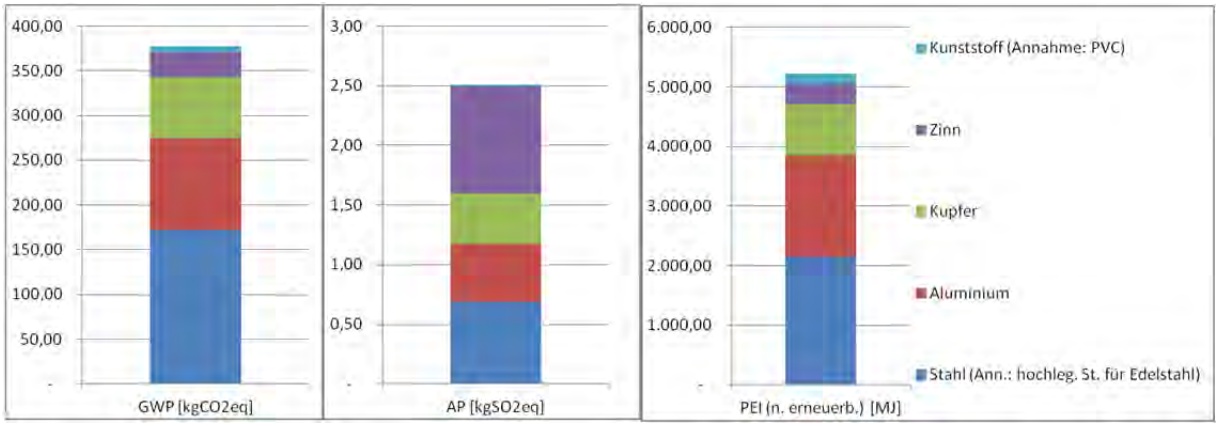


Abbildung 94: GWP, AP und PEI für eine Fernwärme-Übergabestation mit 80 kW thermischer Leistung

6.6.3. Kraft-Wärme-Kopplung

Eine Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) beschreibt einen Verbrennungsprozess, bei dem Strom produziert und die Abwärme zu Heizzwecken verwendet wird. Damit hat diese Form der Energieumwandlung einen sehr hohen Gesamtwirkungsgrad. Beim Einsatz von Biomasse als Energieträgermedium fallen dabei auch keine zusätzlichen CO_2-Emissionen im Betrieb an. Der Einsatz von KWK-Anlagen ist nur bei ganzjähriger Nutzung der Abwärme und stromgeführtem Betrieb wirtschaftlich vertretbar und somit spielen sie im Wohnbereich kaum eine Rolle.

Außerdem haben Systeme für die gleichzeitige Erzeugung von thermischer und elektrischer Energie auf Basis von festen Biomassebrennstoffen im kleinen Leistungsbereich haben auch in den letzten Jahren keine nennenswerten Fortschritte gemacht. Einige Hersteller drängen mittlerweile mit Mikro-KWK-Geräten auf den Markt, die mit Erdgas betrieben werden können. Feldtests dazu waren den Autoren dieser Studie jedoch noch nicht zugänglich.
Um derartige Systeme auch mit regenerativer Energie betreiben zu können, wäre die Bereitstellung von nennenswerten Mengen an Bio-SNG oder Biogas in geeigneten Reinheitsgraden notwendig. Da wärmegeführte KWK-Geräte einen stark jahreszeitlich geprägten Brennstoffbedarf aufweisen, besteht auf der einen Seite die Möglichkeit, Methan kontinuierlich zu produzieren und zu speichern oder die Gasproduktion dem Bedarf nachzuführen. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde deshalb untersucht, wie sich längere Standby-Zustände auf kontinuierlich betriebene Nassfermenter auswirken [Sattler, 2011].

Jedenfalls wurden die Effekte von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen über die Emissions- bzw. Konversionsfaktoren berücksichtigt. Energietechnisch betrachtet wurde das Problem damit auf die Ebene der (im Allgemeinen) städtischen Umgebung des beispielsweise fernwärmeversorgten Objekts verlagert. Weiterführende Informationen zu Mikro-KWK-Systemen finden sich bei Müller, 2010, S.79f und S.120ff.

6.6.4. Photovoltaik

Vorteile der gebäudeintegrierten Photovoltaik bestehen in der vielfältigen gestalterischen Möglichkeit zur Integration in die Gebäudehülle. Die Nutzung des Stromnetzes als Speicher stellt ebenfalls einen erheblichen Vorteil dar. Als nachteilig ist der Leistungsabfall bei Teilabschattung, die direkte Abhängigkeit vom solaren Angebot und den rechtlichen Rahmenbedingungen zur Anlagenförderung zu nennen.

6.6.4.1. Energie

Die Berechnung der energetischen Erträge aus dem System zur photoelektrischen Energiegewinnung ergibt sich in Abhängigkeit von der in der Kollektorebene eingestrahlten Energie und dem Wirkungsgrad der eingesetzten Module. Die mittlere stündliche Leistung lässt sich damit, bei Vorgabe der geometrischen Randbedingungen für die Photovoltaikanlage, unmittelbar aus dem Klimadatensatz ableiten. Das physikalische Modell aus [Einfalt, 2010, S. 30ff.] wurde für die genaue Berechnung im Rahmen dieser Studie auf eine stundenweise Basis gebracht.

6.6.4.2. Ökologie

In der Diskussion um die Ökobilanz von Photovoltaiksystemen rückt in den letzten Jahren besonders die Frage der Rezyklierbarkeit der Module immer stärker in den Vordergrund. Derzeit liegt der Großteil der Abfallmenge in Produktionsausfällen, Transportschäden, Montageschäden usw. begründet, ist also mit der Leistung korreliert, die aktuell installiert wird. In den kommenden Jahrzehnten wird jedoch eine wachsende Menge an Modulen, die aufgrund von zunehmender Alterung zurückgebaut bzw. ersetzt werden müssen, für

Recycling zur Verfügung stehen. Im Detail gehen Autoren dabei von verschiedenen Szenarien aus, etwa zur „Absterbekurve für PV-Anlagen“, d.h. für die aus Wahrscheinlichkeitsfunktionen für das Betriebsende ermittelten Rückbaumengen. So rechnet man mit einer Steigerung des jährliche Abfallaufkommens an Modulen von ca. 5.000 Tonnen im Jahre 2009 auf über 35.000 Tonnen für das Jahr 2020 und über 130.000 Tonnen für 2030. ([Sander, 2007, S.54] [Barendt, 2010, S.33ff.]).
Neben den erheblichen Abfallmengen zeigen einschlägige Untersuchungen jedoch auch auf, dass im Bereich des Recyclings bereits heute ökologisch und energetisch beherrschbare Methoden zur Schaffung annähernd geschlossener Produktzyklen bestehen. [ebd; BINE, 2010]

Für die vorliegende Studie wurde aber, wie auch bei den anderen Energiewandlern, die Frage der Grauen Energie und der Lebenszyklusemissionen in Photovoltaiksystemen in den Vordergrund gerückt. Spezifische Informationen dazu liefern [Sander, 2007], [BINE, 2010]und [Häberlin, 2007]. Herangezogen wurden die einzelnen Werte für verschiedene Materialien aus der folgenden Mengenliste für ein heute übliches Photovoltaikmodul auf Basis von kristallinem Silizium:

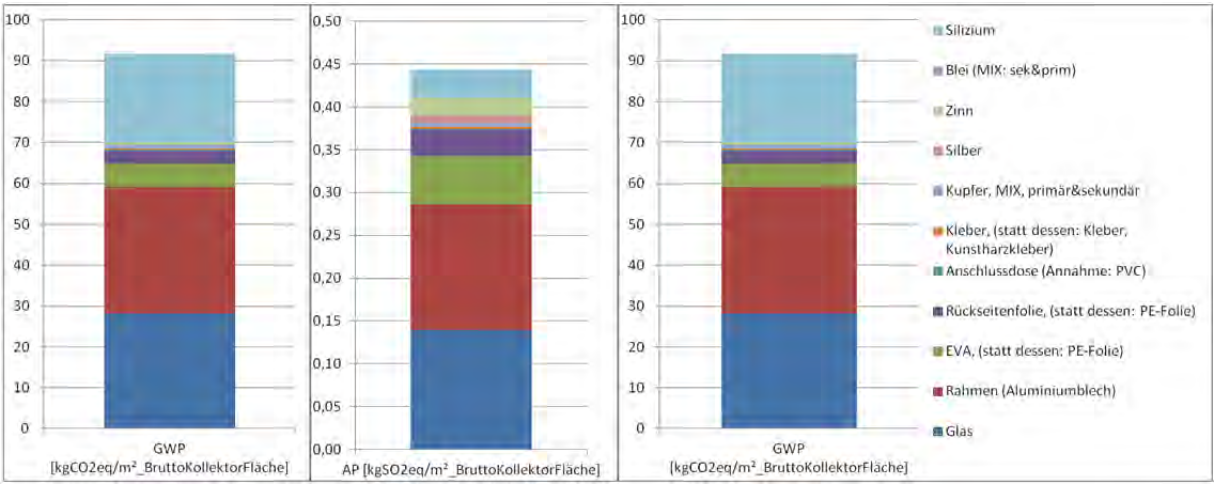


Abbildung 95: Die Zusammensetzung eines kristallinen Moduls aus verschiedenen Materialien wurde der Ökobilanz der Photovoltaik zu Grunde gelegt.

Zusammenfassend kann unter Einbeziehung der Informationen aus den einschlägigen, oben genannten Quellen zur Ökobilanz der Photovoltaik jedenfalls folgendes festgehalten werden:

- Die Energierücklaufzeit (energetische Amortisation) liegt je nach Standort in Mitteleuropa für kristalline Module bei ca. zwei bis vier Jahren, mit weiter sinkender Tendenz
- Die Herausforderungen, die mit der Wiederverwertung von Photovoltaikmodulen verbunden sind, können als beherrschbar angesehen werden.
- Schädliche Stoffe kommen in den Photovoltaikmodulen selbst kaum vor, wenn man die einzelnen Modultypen mit ihren Marktanteilen gewichtet.

- Klimarelevante und andere Schadstoffe sind im Wesentlichen als inert innerhalb des Herstellungsprozesses anzusehen. Wo es noch relevante Emissionsquellen gibt, sind diese Probleme als lösbar anzusehen.

6.6.4.3. Technologiediffusion und Lernrate

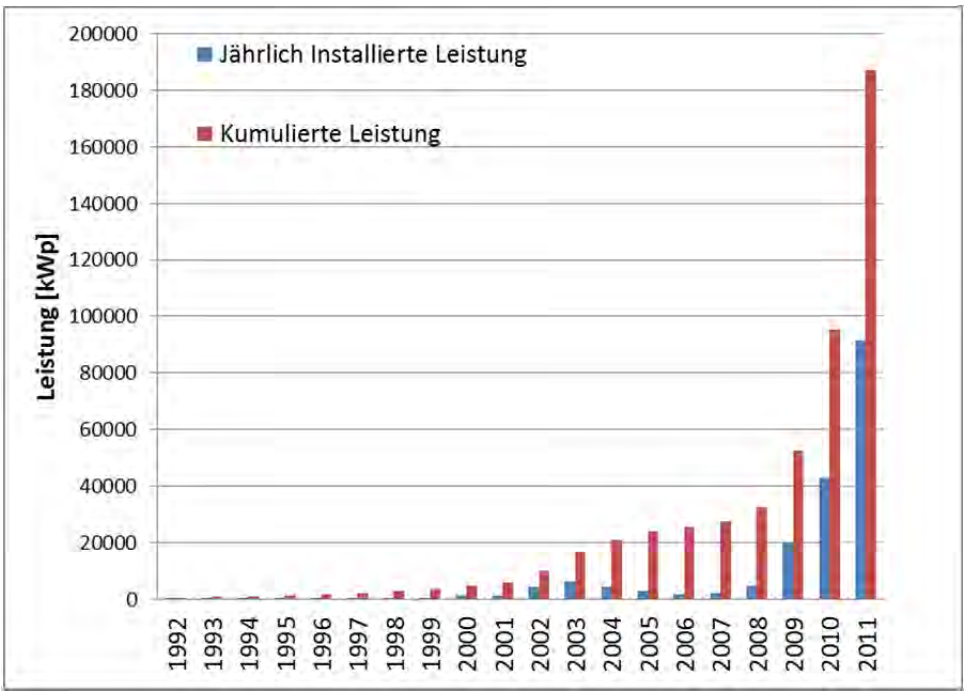


Abbildung 96: Kumulierte installierte PV-Leistung in Österreich in kWpeak; Quelle: Eigene Darstellung, Daten von Biermayr et al, 2012

Insbesonders in den letzten Jahren hat die Photovoltaik in Österreich, vor allem aufgrund geänderter politischer Rahmenbedingungen und rasch sinkender Preise, einen enormen Boom gestartet. Sollte sich diese Entwicklung in den nächsten Jahren fortsetzen, so ist von einer raschen Verbreitung dieser Technologie im Gebäudesektor auszugehen. Die hohe Lernrate von ca. 20% (siehe Abbildung 97) lässt vermuten, dass - sofern keine Rohstoffknappheit auftritt - auch in Zukunft die Preise tendenziell sinken werden. Eine zweite Untersuchung (siehe Abbildung 100) hat für Photovoltaik eine etwas niedrigere Lernrate mit ca. 16% ermittelt. Dennoch werden mit zunehmender Marktreife entsprechende Lösungen zur technisch, ökonomisch und architektonisch optimalen Gebäudeintegration von Photovoltaik an Bedeutung gewinnen. Die größten Unsicherheiten für die zukünftige Entwicklung von Photovoltaik stellen die politischen Rahmenbedingungen, die Rohstoffpreise und die zu erwartende Lebensdauer der Module dar.

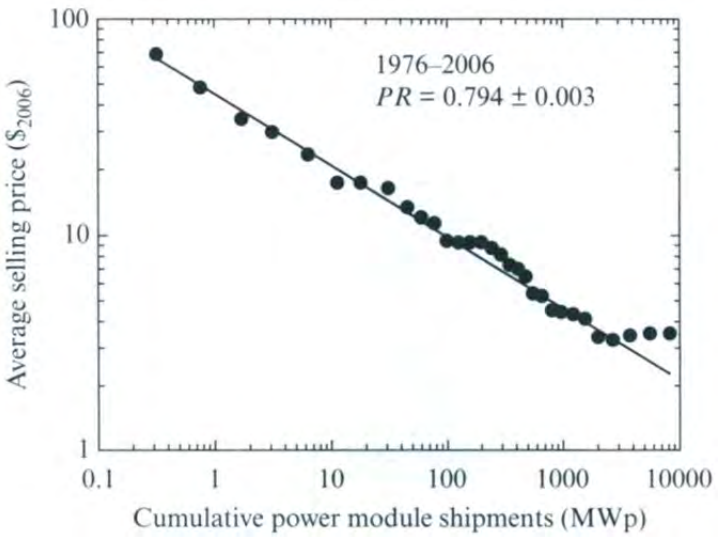


Abbildung 97: Fortschrittsrate im Bereich der Photovoltaik (entnommen aus van Sark, Wilfried, et al.). Die Lernrate ergibt sich aus 1 – 0,794 = 0,206.

6.6.5. Solarthermie

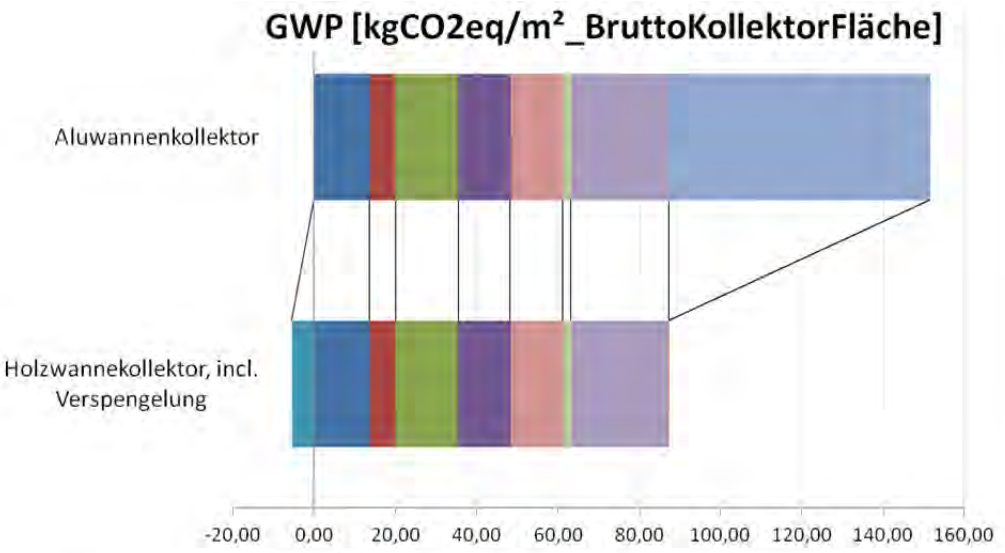
Die Solarthermie verfügt über ein hohes Potential bei der Deckung des Warmwasserbedarfs und kann zusätzlich zur Heizwärmeunterstützung eingesetzt werden. Aufgrund des veränderlichen Strahlungsangebots sind jedoch Speichersysteme grundsätzlich erforderlich. Eine Einbindung in die Gebäudehülle ohne Hinterlüftung ist nur bedingt möglich (vgl. Kapitel 6.2). Zeitgemäßes Bauen sollte aber in jedem Fall auf Solarthermie zurückgreifen, wobei die Attraktivität einer bivalenten Solarthermie-Anlage mit zunehmender Energieeffizienz schwindet.

6.6.5.1. Energie

Die Berechnung des stündlichen Ertrages aus dem Solarkollektor wurde in Analogie zur Berechnung des Photovoltaikertrags vorgenommen. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Systemen liegt in der starken Temperaturabhängigkeit des Wirkungsgrades des Solarthermiekollektors im Vergleich zum eher moderaten Einfluss der Temperatur auf den Ertrag elektrischer Energie im Falle der Photovoltaik.

6.6.5.2. Ökologie

Für einen Holzwannen-Solarthermiekollektor wurde anhand des zugehörigen Prüfprotokolls unter Zuhilfenahme der darin enthaltenen Materialliste eine Ökobilanz aufgestellt.
Der Aufbau wurde sodann in Richtung eines Aluwannenkollektors variiert, wobei von einer Materialstärke von 1,5mm für die Rückwand ausgegangen wurde. Der Entfall der mit einem negativen Emissionskennwert versehenem Holzanteil und die Erhöhung der kalkulierten Emissionen durch den Einsatz von Aluminium führen zu einer Erhöhung der GWP-Werte wie in der nächsten Abbildung ersichtlich:



	Holzwannekollektor, incl. Verspengelung	Aluwannenkollektor
Holzrahmen, Fichtenstaffel 40x90	-5,48	0
Absorber, Aluminium	13,64	13,64
Absorber, Kupfer	6,40	6,4
Wärmedämmung, Steinwolle, 100mm	15,42	15,42
Abdeckung, ertexESGGlas	12,82	12,82
Dichtleisten, Aluprofil	12,90	12,9
Dichtleisten, EPDM	2,00	2
Verblechung, Aluminium, 1mm	24,07	24,07
Rückwand, Aluwanne 1,5mm	0,00	64,29
Rückwand, OSB, 6mm	0,02	0

Abbildung 98: Der Vergleich zwischen Alu- und Holzwannenkollektor zeigt moderate Unterschiede in der GWP-Bilanz; Ausgangsdaten: Solarthermiekollektor „Ökotech HAT“ mit 4,318 m² Brutto-Kollektorfläche; Vergleichsdaten Alu-Wannen-Kollektor: Eigene Berechnungen

6.6.5.3. Technologiediffusion und Lernrate

Die kumulierte Leistung der Solarthermie-Kollektoren in Österreich hat in letzten Jahren stetig zugelegt und in Relation zur Einwohnerzahl hat das Land eine der höchsten Marktdurchdringungsraten weltweit. Das kann aber nicht über die Tatsache hinwegtäuschen, dass die jährlichen Verkaufszahlen seit einigen Jahren rückläufig sind (siehe Abbildung 99). Nachdem die Mehrheit der frühen Technologieadaptoren, die in der Regel höhere Preise als die breite Masse akzeptiert, in Österreich nahezu vollständig erreicht ist, scheinen die kaum gesunkenen Preise der letzten Jahre die weitere Entwicklung der Technologie zu hemmen. Entsprechend Abbildung 100 ergeben sich geringe Fortschrittsraten von 0,9 für Flachkollektoren bzw. 0,95 für die Gesamtsystempreise im Einfamilienhaussektor. Daneben wird es mit zunehmender Energieeffizienz der Gebäude immer unwirtschaftlicher, bivalente Systeme für Warmwassererwärmung und insbesondere für die Raumheizung einzusetzen. Das spiegelt sich auch im derzeitigen Trend im Wohnbereich wider, der in Richtung monovalenter Systeme geht. Für eine weitere Verbreitung der Solarthermie müssen also die Systempreise in den nächsten Jahren sinken und Entwicklungen im Bereich der Energiespeicher (siehe Kapitel 6.7) vorangetrieben werden.

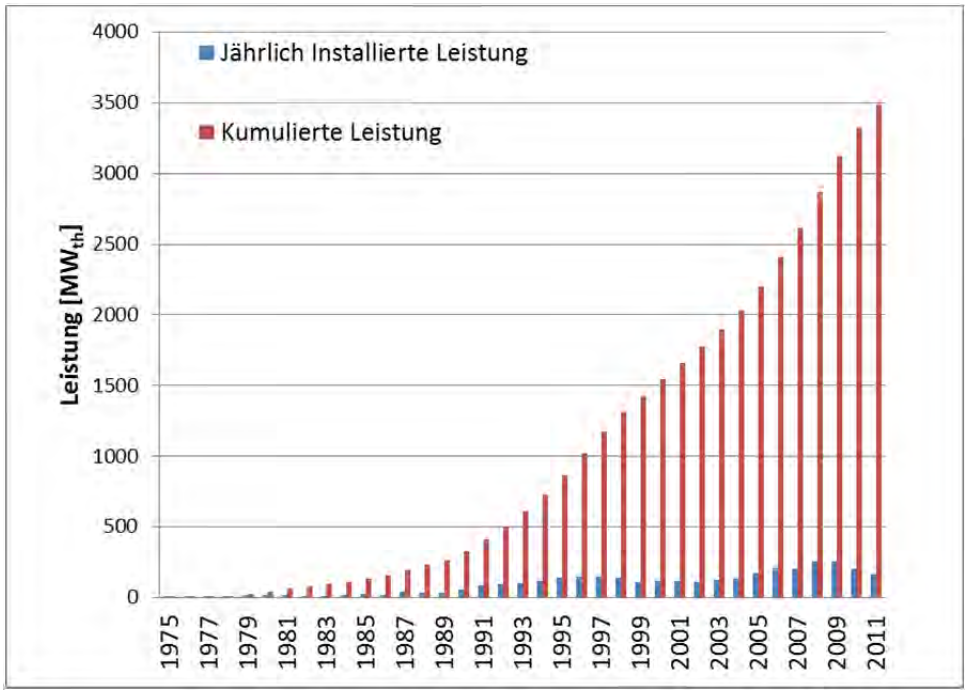


Abbildung 99: In Betrieb befindliche thermische Kollektorfläche in Österreich; Quelle: Eigene Darstellung, Daten von Biermayr et al, 2012

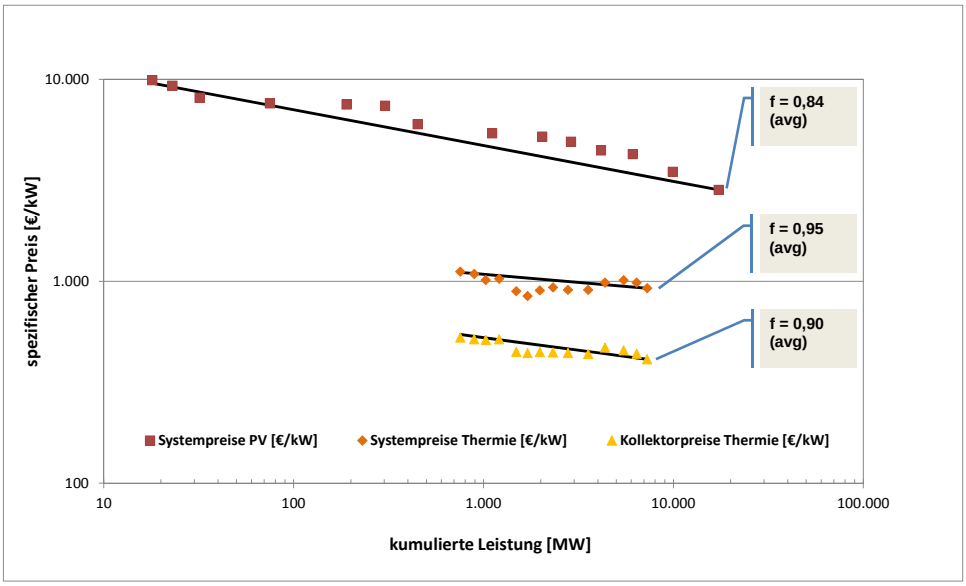


Abbildung 100: Vergleich der Fortschrittsraten von Solarthermie und PV 1997-2010 auf Basis von Endkundenpreisen; Quelle: AEE INTEC, 2011 in Bointner et al, 2012

.

6.6.6. Solares Kühlen

Eine für die Heizungsunterstützung im Winter und in der Übergangszeit großzügig dimensionierte Kollektorfläche weist, abgesehen von einzelnen Fällen sehr steiler Kollektoraufständerung, im Allgemeinen enorme Überschüsse an thermischer Energie in den Sommermonaten auf. An die Anwendung solarthermischer Kühlung im Gebäudebereich wurden deshalb lange Zeit größere Hoffnungen geknüpft.
Aufgrund der im Unterkapitel „Energie“ beschriebenen Eckdaten wurde das Thema „Solares Kühlen“ in dieser Studie nicht in Form von Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen sondern durch die starke Berücksichtigung möglichst großer und günstig angeordneter Photovoltaik-Flächen in der Gebäudestruktur berücksichtigt. Zu bedenken ist allerdings, dass im Falle eines Kühlbedarfs in einem Gebäude in Mitteleuropa zunächst die grundsätzliche Gebäudekonzeption und die Energieeffizienz der Geräte, mit denen das Gebäude ausgestattet ist, zu hinterfragen sind.

6.6.6.1. Energie

Die Fachliteratur bietet mittlerweile einen guten Überblick über die erreichbare Effizienz solarthermischer Kühlsysteme. Beim derzeitigen Stand der Technik liegen Anlagen kleiner Leistung im Bereich um 1 für den COP_th und in vielen Fällen unter 5 für den COP_el ([Gantenbein, 2010], [Nunez, 2008], [Jähning, 2011, S.49f] usw.).
Einschränkend muss allerdings festgehalten werden, dass sich diese COP-Werte in vielen Fällen schon durch ingenieurmäßige Verbesserungen steigern ließen und lassen.

6.6.6.2. Technologiediffusion

Die starke Kostendegression im Bereich der Photovoltaikmodule wird möglicherweise dazu führen, dass Kombinationen aus PV und Kompressionskältemaschinen das solarthermische Kühlen aus dem kleinen Leistungsbereich verdrängen, bevor es noch nennenswerte Marktanteile erlangt hat.

6.6.7. Kältemaschinen, Wärmepumpen und Geothermie

Ein Vorteil der Wärmepumpe ist die effiziente Bereitstellung von Wärme und Kälte durch die Nutzung der Umgebungstemperatur von Erdreich, Wasser oder Außenluft. Besonders bei Niedrigenergie- und Passivhäusern stellt eine Wärmepumpe ein attraktives Angebot zur Deckung des geringen Heizwärmebedarfes dar. Dabei ist besonders auf die Planung zu achten, da Erdwärmepumpen meist teure Erdarbeiten erfordern und die Nutzung von Wasser rechtlich vielerorts eingeschränkt ist. Luftwärmepumpen haben in der Regel geringe Arbeitszahlen und dementsprechend ist von solchen Systemen mit Ausnahme von Spezialfällen wie Sanierung ohne Einsatzmöglichkeit alternativer Heizsysteme eher abzuraten.

6.6.7.1. Energie

Ziel der Abbildung von Wärmepumpen und Kältemaschinen in den Berechnungen dieser Studie war in erster Linie die Darstellung der Charakteristik des Stromverbrauchs in Abhängigkeit von der betrachteten Gebäudevariante und von dem zu Grunde gelegten Klimadatensatz. In begleitenden Arbeiten wurden Simulationen vorgenommen, die auf einer detaillierteren, physikalischen Modellierung auf Basis von Kreisprozessen basieren [Diem, 2012].

Zur Abschätzung des elektrischen Energiebedarfs für den Fall der Verwendung eines Wärmepumpensystems wurden im Gesamttool folgende Anlagentypen betrachtet:

- Außenluft/Zuluft Wärmepumpe
- Außenluft/Wasser Wärmepumpe
- Wasser/Wasser Wärmepumpe
- Sole/Wasser Wärmepumpe

Die Modellbildung zu den einzelnen Systemen folgte dabei dem Ansatz, dass die stündliche Leistungszahl der Anlage sich aus den Temperaturniveaus von Wärmequelle und Wärmesenke nach dem idealen Carnot-Prozess ($COP_{theoretisch}$), gemindert um einen Faktor, der wiederum vom Typ der gewählten Wärmepumpe abhängt, ergibt. Dieser Faktor JNGF („Jahresnutzungsgradfaktor“) kann als Ergebnis aus weiterführenden Simulationen gewonnen, oder auch aus Feldtests abgeschätzt werden. Eine Orientierung für realistische Annahmen bieten weiters Prüfstandswerte nach EN 14511. Diese Prüfstandswerte befinden sich im Bereich zwischen $COP_{0,in}$ und COP_{real}, wie in Abbildung 101 angedeutet.

Zur Berechnung der Wärmesenkentemperatur wird zunächst eine mit der Leistungen für Trinkwarmwasserbereitung (P_{WW_Anf}) und der Leistung für die Heizung ($P_{Heizung\_Anf}$) gewichtete Vorlauftemperatur definiert, die sich folgendermaßen errechnet:

$$\theta_{VL,gew} = \frac{\theta_{VL\_WW} * P_{WW\_Anf} + \theta_{VL\_Heizung} * P_{Heiz\_Anf}}{P_{WW\_Anf} + P_{Heiz\_Anf}} \quad [°C] \quad (22)$$

Der ideale COP errechnet sich nach der Carnot-Formel

$$COP_{0,in} = \frac{\theta_{Wärmesenke} + 273{,}15}{\theta_{Wärmesenke} - \theta_{Wärmequelle}} \quad [-] \quad (23)$$

$$COP_{real} = JNGF * CO_{0,in} \quad [-] \quad (24)$$

Für die Temperaturniveaus der einzelnen Wärmepumpen-Typen wurden dazu folgende Annahmen getroffen:

- Außenluft/Zuluft Wärmepumpe:
  Wärmequellentemperatur: Außenlufttemperatur
  Wärmesenkentemperatur: Dafür wird ein gewichtetes Mittel der Temperaturen für Warmwasser und Heizung gebildet, wobei für das Luftheizregister eine Höchsttemperatur von 55°C für Außenlufttemperaturen unter -10°C, eine

Mindesttemperatur von 30°C ab 10°C Außenlufttemperatur angenommen wird und dazwischen mit einer linearen Heizkennlinie interpoliert wird.

- Außenluft/Wasser Wärmepumpe
  Wärmequellentemperatur: Außenlufttemperatur;
  Wärmesenkentemperatur: gewichtetes Mittel, wie oben beschrieben;
- Wasser/Wasser Wärmepumpe
  Wärmequellentemperatur: Diese muss standortbezogen eingegeben werden. Als Defaultwert wird von einem Temperaturniveau von 8°C ausgegangen.
  Wärmesenkentemperatur: gewichtetes Mittel, wie oben beschrieben
- Sole/Wasser Wärmepumpe
  Wärmequellentemperatur: Dazu wurde das Erdreich in einem eigenen Tabellenblatt modelliert, wie einige Absätze weiter unten beschrieben.
  Wärmesenkentemperatur: gewichtetes Mittel, wie oben beschrieben

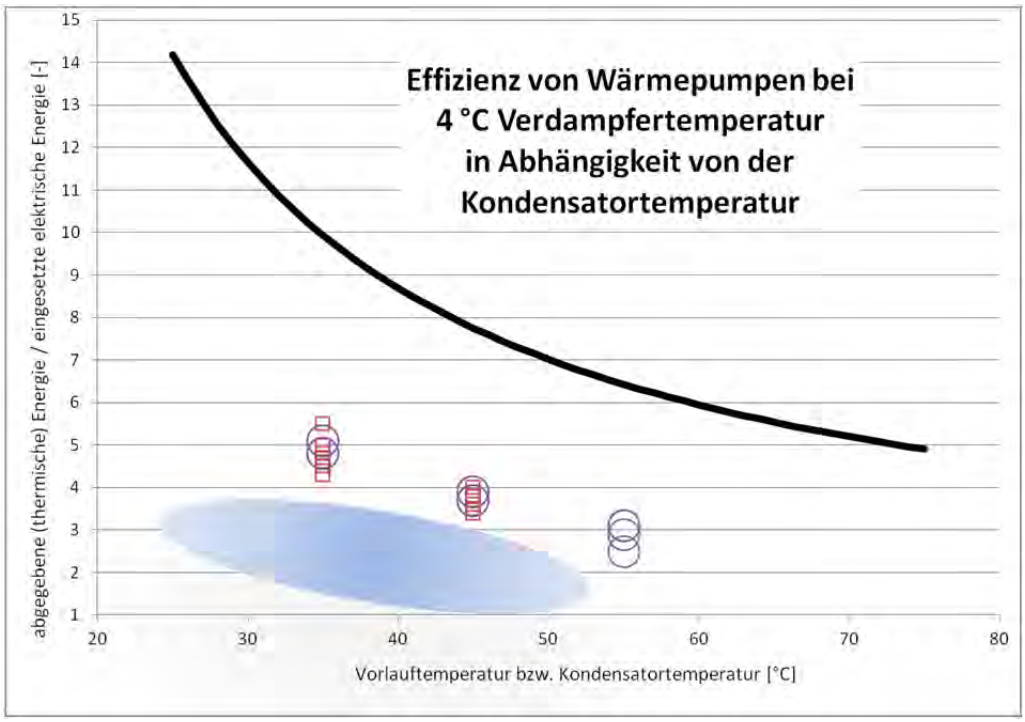


Abbildung 101: Mit steigender Temperatur im Heizsystem sinkt die Effizienz von Wärmepumpen. Die durchgezogene, schwarze Linie zeigt den $COP_{theoretisch}$ in Abhängigkeit von der Kondensatortemperatur unter der Annahme von 4°C Verdampfertemperatur. Die Kreise und Rechtecke darunter zeigen Prüfresultate realer Wärmepumpen nach EN 14511. Das blaue Feld markiert das Gebiet, in dem die meisten in Feldtests ermittelten Jahresarbeitszahlen zu liegen kommen [Wertz2009].

Die elektrische Leistung, die zur Deckung der thermischen Last benötigt wird, errechnet sich dann aus dem Zusammenhang:

$$P_{WP,el} = \frac{P_{WW\_Anf} + P_{Heiz\_Anf}}{COP_{real}} \quad \text{[kWh]} \quad (25)$$

Neben dem Betriebsstrom wurde eine Spalte für den Hilfsstrombedarf des zugehörigen Reglers eingeführt. Als Standardwert wird hier eine ganzjährige Dauerleistung von 25 W vorgegeben.

Mehrschicht-Modellansatz zum Erdreich

Die Literatur bietet eine Fülle an Algorithmen zur Beschreibung des thermischen Verhaltens des Erdreichs im Einzugsgebiet von Wärmetauschern für die verschiedensten Systeme ([Malenkovic, 2005], [Ramming, 2007] usw.).

Zur Abbildung eines horizontal verlegten Erdreichkollektors im Rahmen der gegenständlichen Rechnungen wurde ein eindimensionales Modell in Excel umgesetzt. Dabei wurde der in [Glück, 2009] dargestellte Ansatz für die Zwecke der vorliegenden Arbeit adaptiert und in vereinfachter Form angewendet (Vgl. auch [Gertis, 1976]). Es wird von einem homogenen Erdreich (konstante Dichte, konstante Wärmekapazität, konstante Wärmeleitfähigkeit) ausgegangen. Weiters wird angenommen, dass in Längsrichtung des Kollektorrohres immer konstante Temperaturen innerhalb eines Simulationsschrittes vorherrschen, d.h. dass das Temperaturfeld im Bereich des Erdkollektors sich stets in der Form

$$\theta_{EWT} = \theta(Tiefe, Zeit) \qquad [°C] \qquad (26)$$

darstellen lässt.

Dies würde ungefähr realen Wärmepumpen mit Direktverdampfern, d.h. einer isothermen Verdampfung auf der Wärmequellenseite, entsprechen, stellt aber aufgrund der im Allgemeinen geringen Temperaturdifferenzen zwischen Ein- und Austritt innerhalb eines Zeitschritts auch für Sole-Systeme eine akzeptable Vereinfachung dar.

Dem Benutzer stehen folgende Eingabeparameter zur Verfügung:

Tabelle 24: Eingabeoptionen für Erdwärmepumpen

Bezeichnung	Bedeutung	Default-Wert	Einheit
Faktor_NDS	Gewichtungsfaktor für die Berücksichtigung des Einflusses von Niederschlägen	2	-
Dichte	Dichte des Erdreichs	1500	[kg/m³]
c_p	Spezifische Wärmekapazität des Erdreichs	1,35	[kJ/(kg*K]
Lambda	Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	1,1	[W/(m*K)]
P_Entzug	Spezifische Entzugsleistung für das gegebene Erdreich	-10	[W/m²]
Länge des betrachteten Gebiets	Einzugsbereich des Erdwärmekollektors	errechnet sich aus P_Entzug	[m]
Breite des betrachteten Gebiets	Einzugsbereich des Erdwärmekollektors		[m]
Delta_x	Höher einer Erdschicht im Modell	0,25	[m]
Delta_t	Zeitschritt der Simulation	3600	[s]

Für eine erste Erprobung des Modells wurde für den ungestörten Fall, das heißt ohne Zu- oder Abfuhr von Energie durch ein Erdregister, ein Wetterdatensatz von der Freilandversuchsstelle in Holzkirchen/Bayern herangezogen. Dabei stehen nicht nur stündliche Messwerte zur Außentemperatur und zu Niederschlägen sondern auch Temperaturverläufe für das Erdreich in 100 cm und 50 cm Tiefe sowie an der Oberfläche zur Verfügung [Messdaten Fraunhofer, 2009]. In den folgenden Abbildungen sind diese Daten grafisch dargestellt und werden einerseits mit dem für das Gesamttool erstellten „Mehrschichtmodell“ und andererseits mit den Werten verglichen, die man erhält, wenn man den Rechenalgorithmus von TRNSYS Type 501 heranzieht. Weiters wurde das gleitende Mittel für 7 bzw. 100 Tage eingefügt, das für den ungestörten Fall ebenfalls eine grobe Näherung des zeitlichen Temperaturverlaufs für eine bestimmte Schichttiefe darstellt.

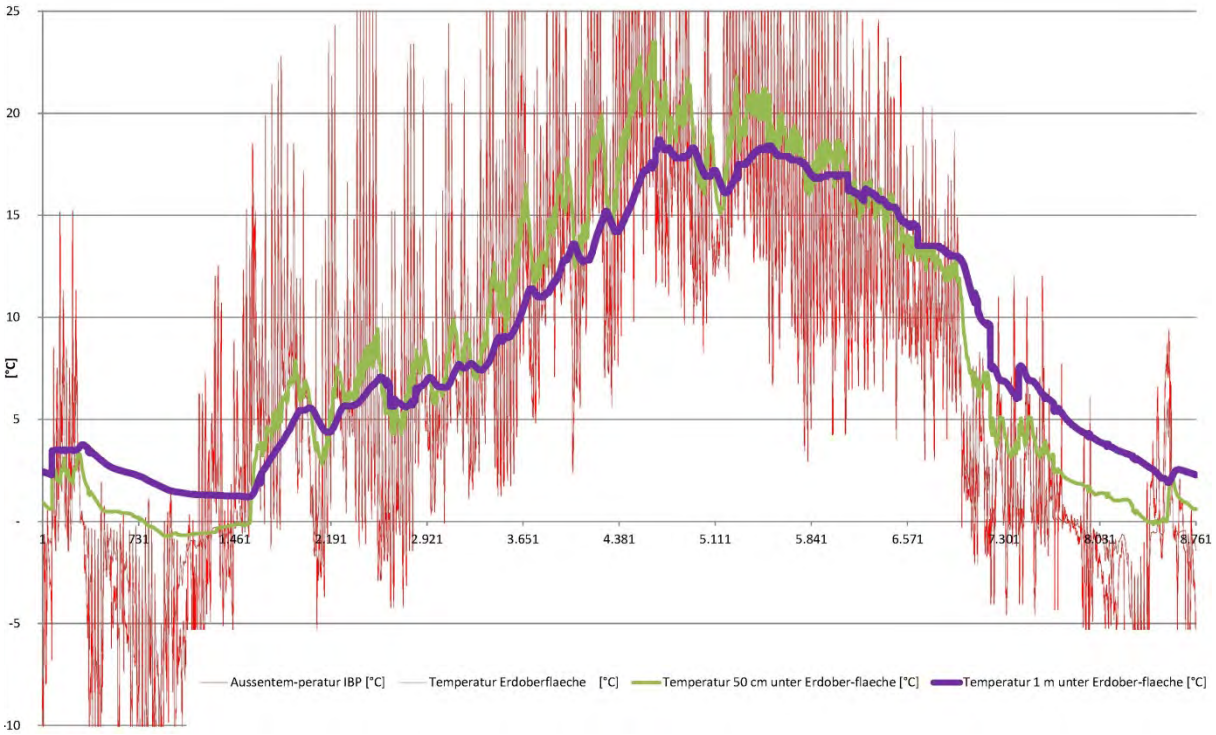


Abbildung 102: Temperaturverläufe an der Oberfläche und im Erdreich sowie für die Außenlufttemperatur; Daten der Wetterstation Holzkirchen/Bayern

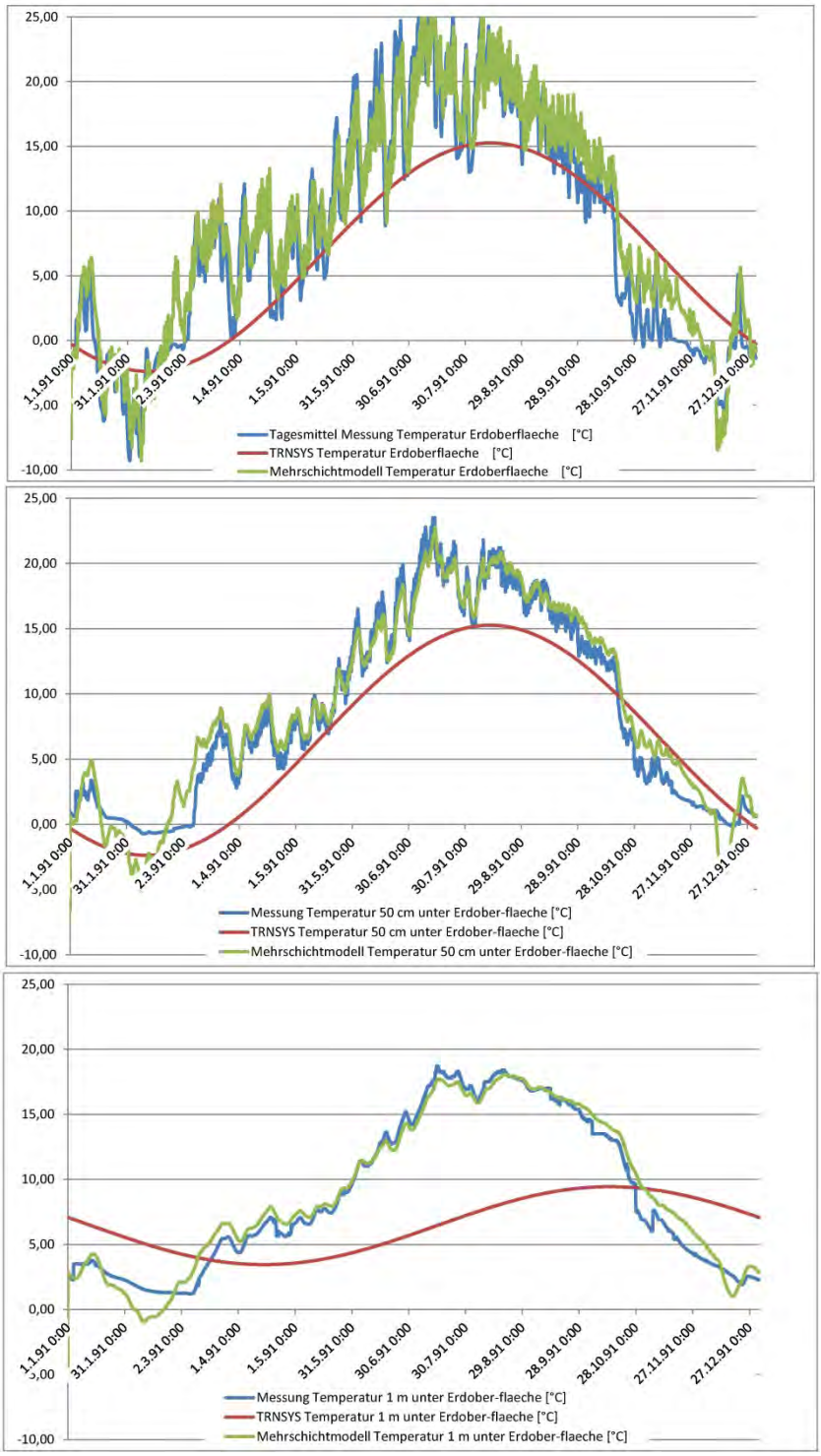


Abbildung 103: Für den Fall des ungestörten Erdreichs zeigt das Mehrschichtmodell (grüne Linie) eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten für den Fall der Erdoberfläche (oben), für einen halben (Mitte) und für einen Meter Tiefe (unten). Die rote Linie zeigt das Ergebnis aus einer einfachen TRNSYS-Simulation

Ausgehend von diesem Modell wurde in der Berechnung anschließend die thermische Leistung des Verdampfers der Wärmepumpe dem Erdreich entzogen. Bezogen auf die Wärmekapazität dieser Schicht bewirkt dies eine Reduktion der Temperatur. Neben der

Wärmeleitung aus der darüber und der darunter liegenden Schicht errechnet sich damit die Temperatur für den nächsten Zeitschritt.

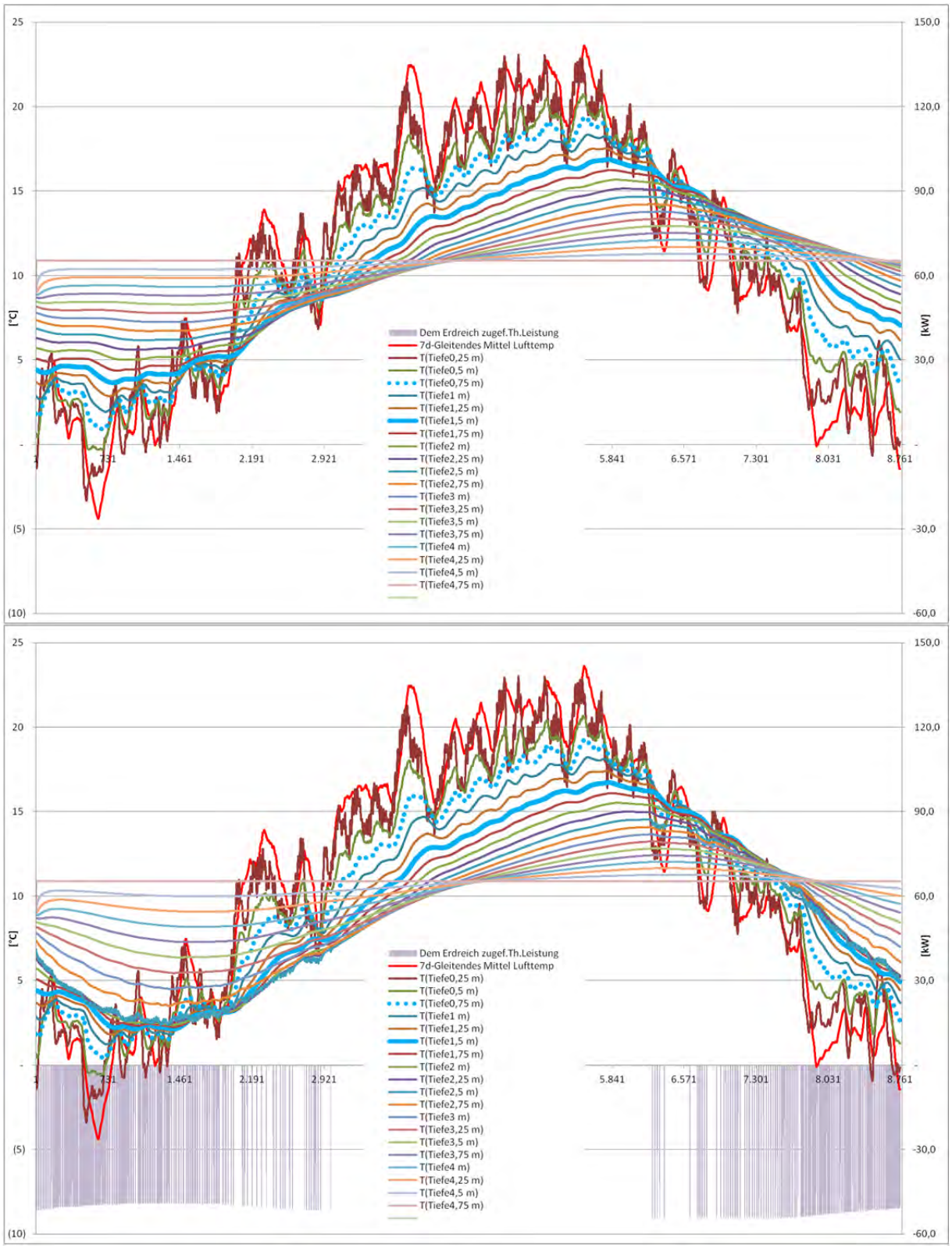


Abbildung 104: Temperaturverläufe des Erdreichs ohne (oben) und mit (unten) Berücksichtigung der entzogenen thermischen Leistung. Das Erdregister wurde hier in 2,5m Tiefe angenommen.

6.6.7.2. Ökologie

Der Aufwand an Grauer Energie zur Herstellung einer Wärmepumpe wurde von der Gesamtmasse ausgehend über eine Annahme zur Materialzusammensetzung errechnet. Für die in Abbildung 105 dargestellte Situation einer Wärmepumpe mit 4 kW Heizleistung wurde eine Gesamtmasse von 282 kg zu Grunde gelegt. Die eingesetzten Kältemaschinen-Systeme wurden analog bilanziert.

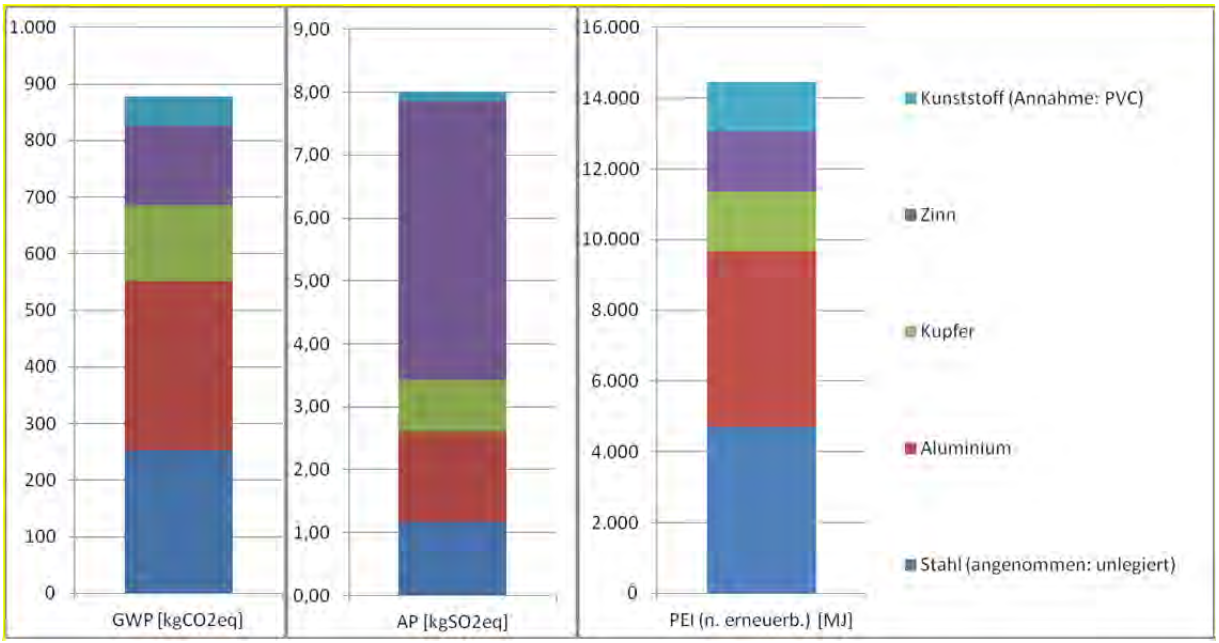


Abbildung 105: Ergebnisse zur Ökobilanz eines einfachen Wärmepumpensystems

Der Aufwand an Grauer Energie für ein Erdregister wurde abgeschätzt, indem von einem kunststoffummantelten Kupferrohr ausgegangen wurde.

6.6.7.3. Technologiediffusion

Heizungswärmepumpen weisen gemäß van Sark et al, 2010 (siehe S. 257), eine sehr hohe Lernrate von 32% (±4%) auf. Aufgrund fortschreitender Entwicklung fasst die Wärmepumpe im Raumheizungsbereich immer mehr Fuß. Dies wird insbesondere durch die Marktentwicklung der letzten Jahre deutlich (siehe Abbildung 106). Kritisch zu betrachten ist allerdings, dass mittlerweile die Mehrzahl der jährlich installierten Systeme Luft-Wasser-Wärmepumpen sind, die zwar billiger in der Anschaffung sind aber aufgrund physikalischer Gegebenheiten geringere Jahresarbeitszahlen als Wärmepumpen mit Wasser oder Sole als Quellsystem aufweisen und somit im Betrieb einen höheren Strombedarf haben. Unabhängig von der Frage des Wärmequellsystems stellen Wärmepumpen aber in der Regel eine sehr günstige Form der Wärmebereitstellung in hocheffizienten Gebäuden dar. Damit sollten speziell beim Plusenergiegebäude Wärmepumpen eine bedeutende Rolle spielen.

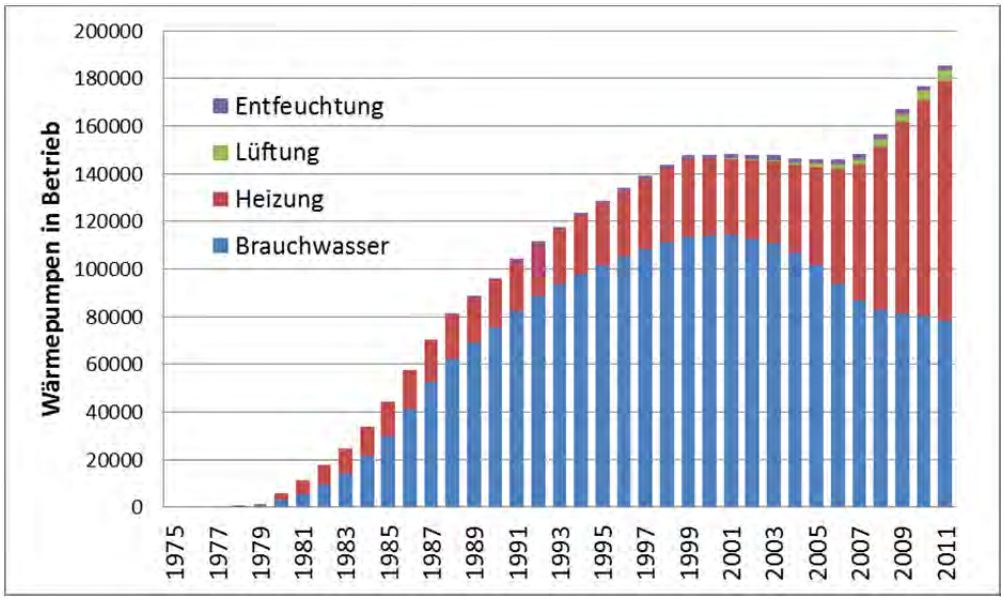


Abbildung 106: Kumulierter Bestand an Wärmepumpen in Österreich unter der Annahme einer technischen Lebensdauer von 20 Jahren. Quelle: Eigene Darstellung, Daten Biermayr et al, 2012

6.6.8. Windkraft

Die kinetische Energie des Windes kann mit hohem Wirkungsgrad in elektrische Energie umgewandelt werden. Die Einbindung in die Gebäudehülle sowie generell die Errichtung im urbanen Raum erweist sich im Allgemeinen als schwierig. Akustische Emissionen, entstehende Vibrationen sowie Eiswurf stellen unter anderem Einschränkungen im Gebäudeeinsatz dar. Das Windangebot ist außerdem stark standortabhängig und kann z.B. durch eine Veränderung der umliegenden Bebauung beeinflusst werden.
Bevor die Beantwortung der Frage, ob die Integration von Klein- bzw. Kleinst-Windkraftanlagen einen nennenswerten Beitrag zur energetischen Deckung in den betrachteten Gebäuden liefern kann, vorgenommen wurde, wurde eine umfassende Literaturanalyse durchgeführt. Als aufschlussreiche Quellen erwiesen sich insbesondere die Informationen der „Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie NÖ-Wien“ [AEE, 2010] sowie eine detaillierte Markt- und Technikanalyse des deutschen Bundesverbands Wind-Energie e.V. [BWE, 2011].

Zusammenfassend kann zum Betrieb von Kleinwindkraftanlagen festgehalten werden, dass zahlreiche Herausforderungen auf technischer, wirtschaftlicher und juristischer Ebene noch weitestgehend ungelöst sind. Zusätzlich ergibt sich bei der bodennahen Nutzung der Windenergie die Problematik der Unregelmäßigkeit des Windes und des im Allgemeinen niedrigen Geschwindigkeitsniveaus durch den starken Einfluss umliegender Objekte bzw. der hohen Bodenrauhigkeit. In der einschlägigen Fachliteratur sind diese Effekte dargelegt [S.277ff.] und sollen deshalb an dieser Stelle nicht wiederholt werden. Da Aufgrund physikalischer Bedingungen große, hohe Anlagen weit effizienter als Kleinwindanlagen sind,

ist abgesehen von Einzelfällen im ländlichen Raum unter optimalen Windverhältnissen vom Einsatz der Kleinwindkraft zum aktuellen Zeitpunkt abzuraten.

6.6.8.1. Energie

Um eine Abschätzung zu den Strömungsverhältnissen zu erhalten, wurde eines der in der Studie betrachteten Referenzgebäude einer zweidimensionalen Strömungsanalyse mit einem CFD-Tool unterzogen. Das Ergebnis deckt sich im Wesentlichen mit den Erkenntnissen aus [AEE, 2010]. Deshalb kann in Hinblick auf eine Anordnung am betrachteten Gebäude auch an die dort festgehaltenen Empfehlungen angeknüpft werden, die sich folgendermaßen zusammenfassen lassen:

- Je höher die WEA positioniert wird desto höher der Ertrag
- Der Mast oder das Gebäude sollte mindestens 50% höher als umgebende Objekte sein
- Die WEA soll an der Gebäudeseite der Hauptwindrichtung platziert werden
- Bei Montage auf einem Giebeldach, soll die Turbine mindestens die halbe Dachhöhe über dem First platziert werden.
- Die WEA soll idealerweise in Hauptwindrichtung ein ungestörtes Strömungsfeld haben.

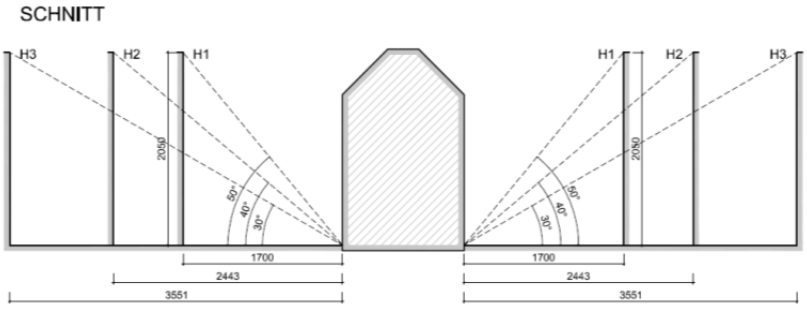


Abbildung 107: Für den Fall des Mehrfamilienhauses wurden einfache Strömungssimulationen vorgenommen.

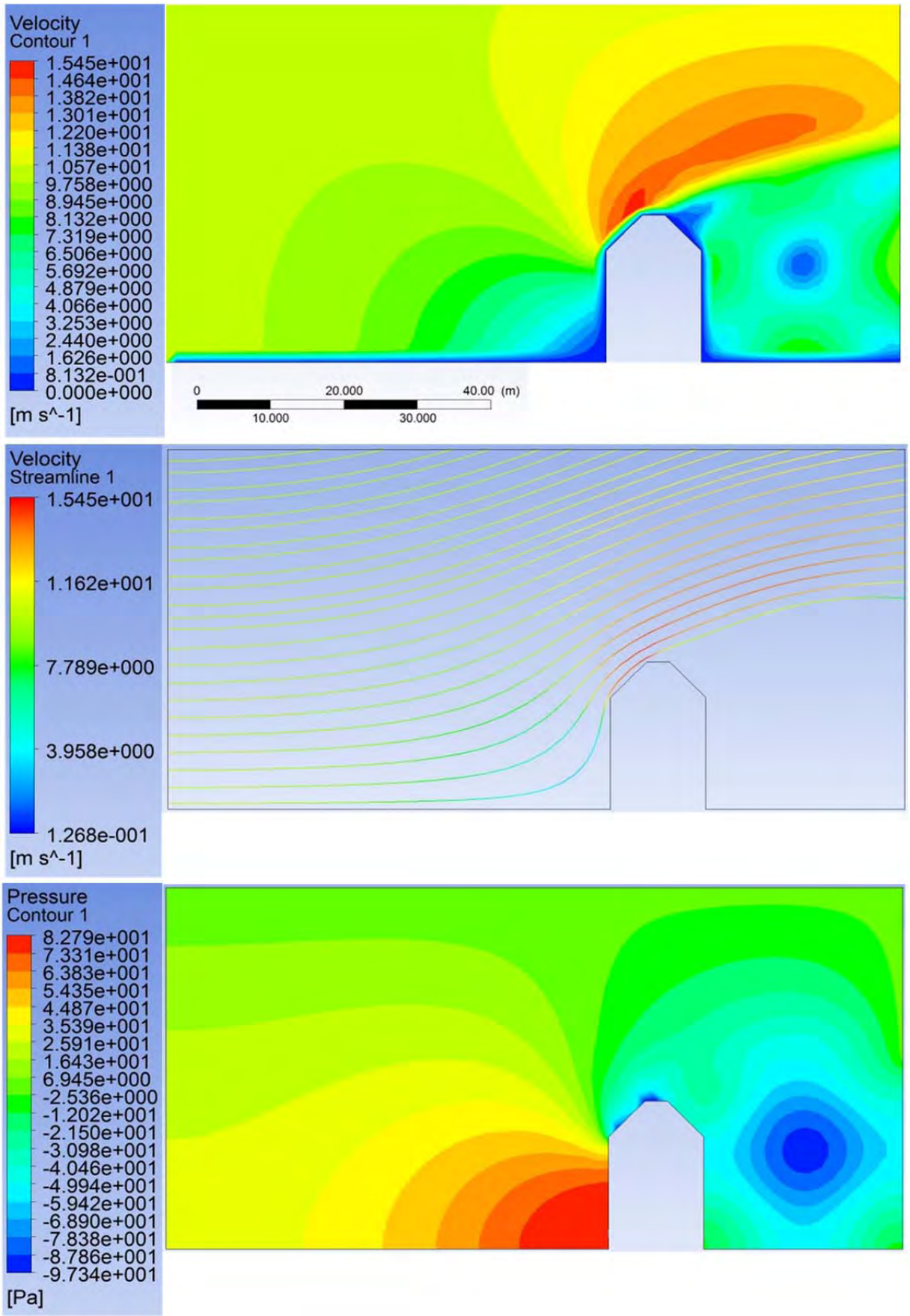


Abbildung 108: Darstellung von Geschwindigkeitskontur (oben), Strömungslinie (mitte) und Druckverteilung (unten) im Falle eines alleinstehenden Mehrfamilienhauses und Anströmung von der Seite

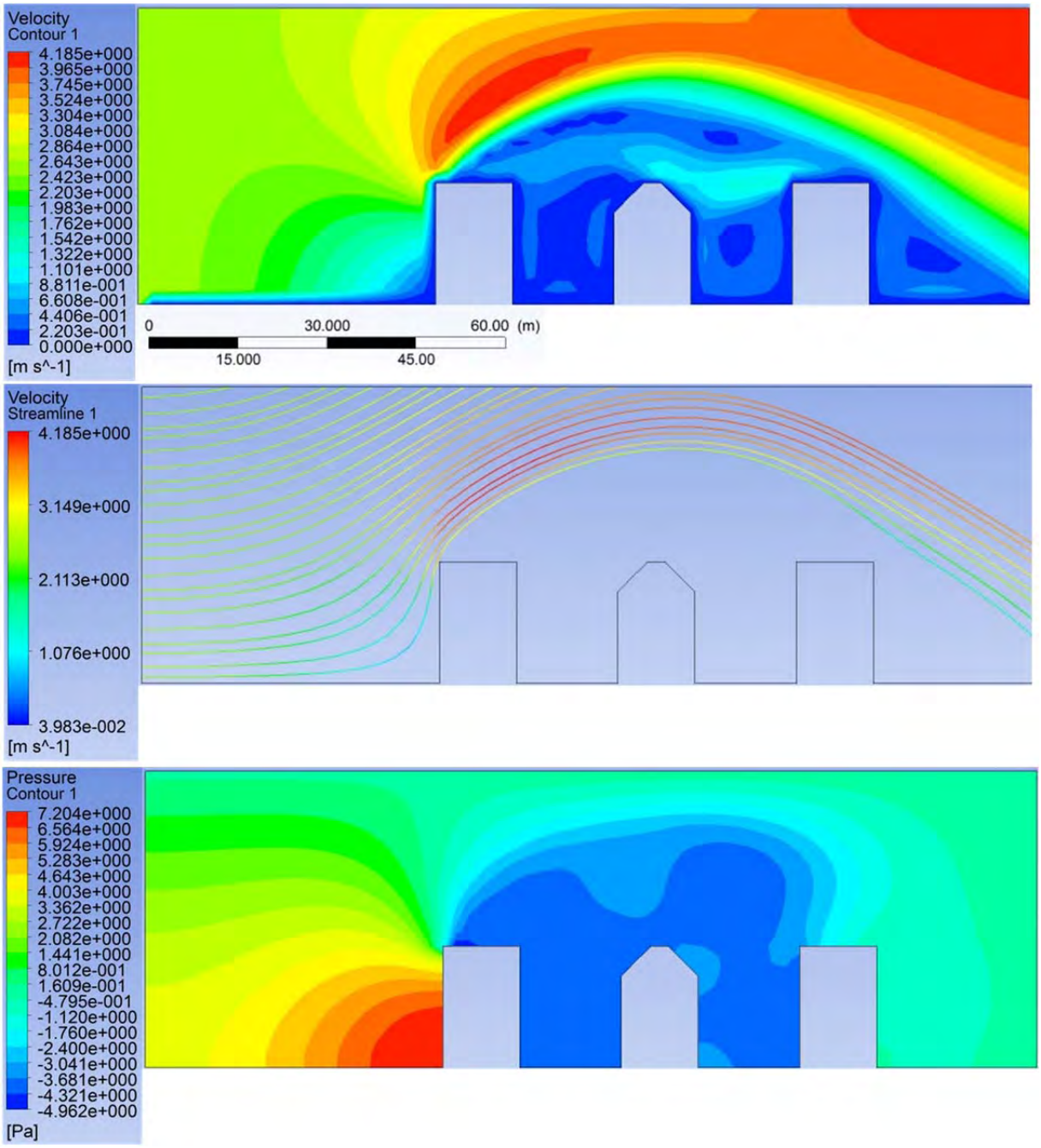


Abbildung 109: Das Strömungsdargebot für das in der Mitte angeordnete Mehrfamilienhaus ist bei der dargestellten Konstellation unbefriedigend[20]

Eine Abschätzung des elektrischen Energieertrags wurde sodann auf stündlicher Basis in Anlehnung an das in [Einfalt, 2011, S.29f] beschriebene Modell vorgenommen.

6.6.9. Gaskessel

Als Vergleichssystem auf Basis fossiler Energie wurde ein Gaskessel in die Berechnung aufgenommen.

[20] Simulation erstellt am Institut für Energietechnik und Thermodynamik durch Miodrag Karamakovic

6.6.9.1. Energie

Da Gaskessel im Allgemeinen ohne Pufferspeicher eingesetzt werden und ein häufiges Takten im Allgemeinen in Kauf genommen wird, wurde die Rückrechnung vom angeforderten, stündlichen Wärmebedarf auf den Brennstoffenergiebedarfs auf Basis eines Wirkungsgrades von 85% vorgenommen.

6.6.9.2. Ökologie

In Fortführung der Bilanzierungsmethode der anderen Energiewandler wurde eine Materialzusammensetzung für den Kessel angenommen und der Zusammenhang zwischen Kesselleistung und Kesselmasse aus Datenblättern hergeleitet. Die Gesamtmasse des Kessels steigt dabei bis zu einer Kesselleistung von ungefähr 500 kW nahezu linear mit der Kesselleistung an. Für ein Heizsystem mit 85kW und 431 kg Masse ergaben sich damit, aufgeteilt auf die einzelnen Werkstoffe, die in der folgenden Abbildung dargestellten ökologischen Effekte für die Herstellung:

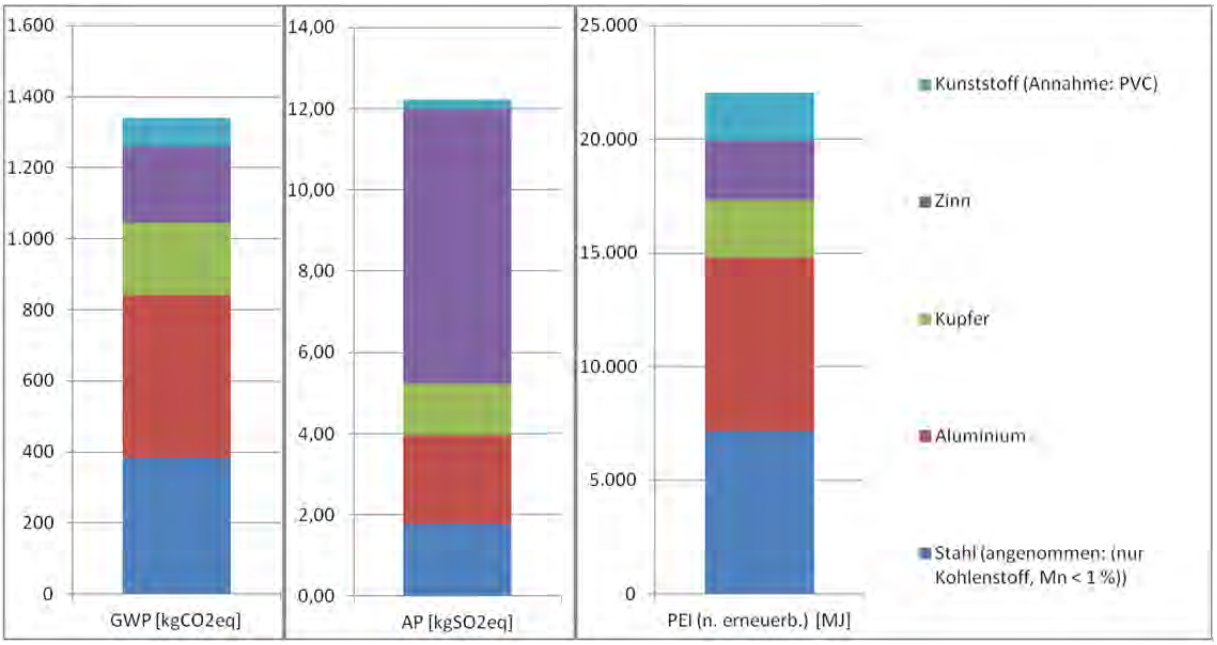


Abbildung 110: ökologische Effekte für die Herstellung eines Gaskessels

6.6.9.3. Technologiediffusion und Lernrate

Gaskessel sind eine etablierte und ausgereifte Technologie. Dennoch weisen sie mit 14% eine beachtliche Lernrate auf, wie Abbildung 111 verdeutlicht. Auf wenn durch die Brennwerttechnik mittlerweile hohe Wirkungsgrade erzielt werden, sollten Gaskessel in den nächsten Jahren wo es möglich ist durch erneuerbare Energiequellen ersetzt werden. In einem Plusenergiegebäude sollte ein Gaskessel in keinem Fall eingesetzt werden.

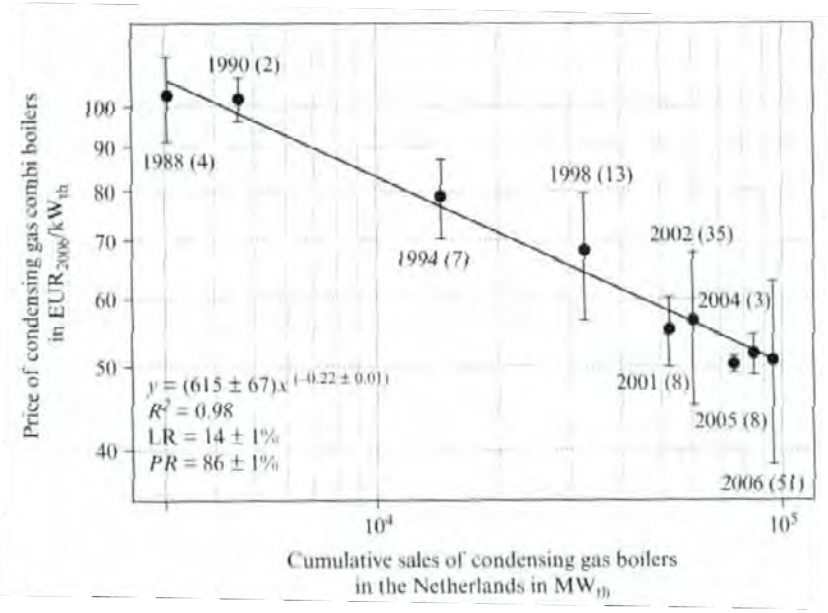


Abbildung 111: Die Erfahrungskurve von Gas-Brennwertkesseln am Beispiel der Niederlande (entnommen aus van Sark, et al 2010)

6.6.10. Kleinwasserkraft

Ein Vorteil der Wasserkraft im Vergleich zu anderen regenerativen Energiequellen liegt in der weitgehend regelmäßigen Energieausbeute. Die erzeugte Energie lässt sich außerdem gut und schnell regeln. Die Errichtung von Wasserkraftanlagen ist jedoch immer mit einem Eingriff in ein bestehendes Ökosystem verbunden und muss entsprechend umsichtig geplant werden. Nachteile der Wasserkraftnutzung liegen außerdem in ihrer Standortgebundenheit (Vorhandensein von Fließgewässern) und den nicht unbeträchtlichen, entstehenden Schallemissionen und Vibrationen, die Einhausungen unabdingbar machen. Da Kleinwasserkraft in Gebäuden nur entlang von Gewässern in Frage kommt, wurden keine näheren Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt.

6.7. Energiespeicher

Im Bereich der Energiespeicher wurden in erster Linie Wasserspeicher in die Planung der unterschiedlichen Gebäudevarianten eingebunden. Alle anderen Möglichkeiten wie Feststoffspeicher, Latentwärmespeicher oder Sorptionsspeicher / thermochemische Speicher erwiesen sich als zu marktfern für eine detaillierte Berücksichtigung in den Berechnungen zur Studie. Auch wenn einige abgeschlossene Forschungsprojekte zum Ergebnis kommen, dass der Einsatz derartiger Systeme zwar einen „technisch durchführbarer Lösungsansatz für die saisonale Speicherung“ darstellen würden [AEE, 2002, S.3], muss festgehalten werden, dass diese Technologien für den praktischen Einsatz in den in dieser Studie betrachteten Gebäuden kaum geeignet erscheinen ([Oertel, 2008, S.51ff.], [Streicher, 2006, S.3], [Kerskes, 2012] usw.).

Ein darüber hinausgehender Blick auf die ökonomisch und energetisch sinnvollen Optionen der Energiespeicherung im weiteren Sinne zeigt vor allem für den innerstädtischen Bereich die Möglichkeit der thermischen Netzeinspeisung. Die Verwendung von bestehenden Netzinfrastrukturen öffnet insofern interessante Möglichkeiten für solarthermische Systeme, als die Integration konventioneller thermischer Speicher gerade in städtischen Strukturen häufig nicht möglich oder zumindest wesentlich aufwändiger als in ländlichen Regionen ist. In der Praxis erweisen sich das mangelnde Platzangebot und eigentumsrechtliche Fragen nämlich häufig als unüberwindbare Hürde bei der Umsetzung einer solarthermischen Anlage mit hohem Deckungsgrad. Umgekehrt bietet das Vorhandensein eines thermischen Netzes Möglichkeiten, die in Gegenden mit geringer Siedlungsdichte meist nicht vorhanden sind.

Zur Veranschaulichung, welche Auswirkungen die Dimensionierung eines konkreten thermischen Speichers auf die gesamte Ökobilanz hat, wurde ein Pufferspeicher mit 3 mm Wandstärke und einer Mindestdämmstärke von 30 cm betrachtet. In der folgenden Abbildung ist ein Vergleich zwischen zwei verbreiteten Lösungen zur Ausführung der Speicherdämmung im Einfamilienhausbereich dargestellt. Nähere Informationen zu unterschiedlichen Speichertypen und deren wirtschaftlichem Potential finden sich in Bointner et al, 2012.

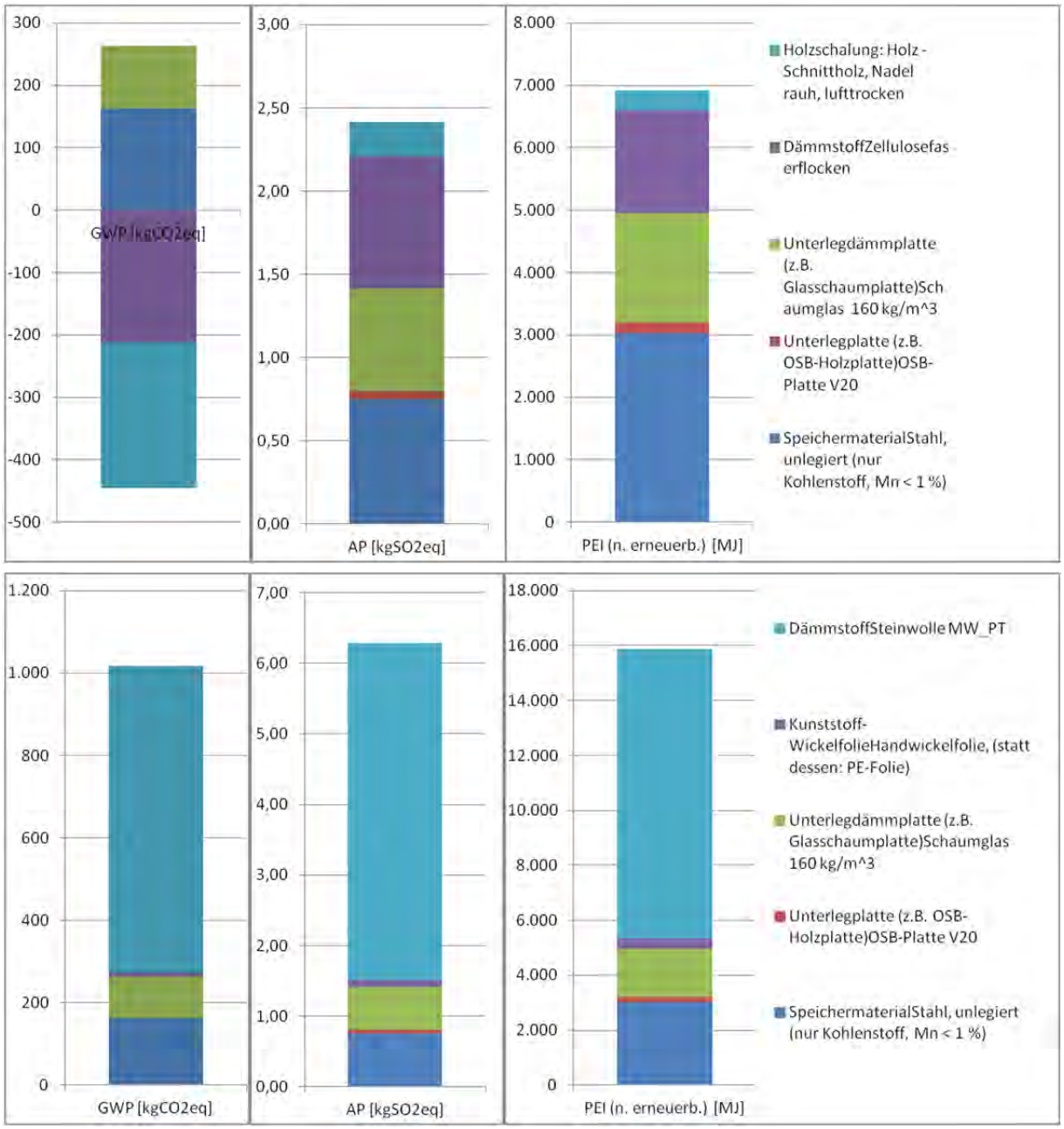


Abbildung 112: Für die Ökobilanz wurde ein Speicher mit 1,6 m³ Nutzvolumen herangezogen. Der obere Teil der Grafik zeigt die Ergebnisse für die Variante mit rechteckiger Holzschalung und Zellulose-Ausblasdämmstoff; der untere Teil gibt die Ergebnisse für die Umwicklung des Speichers mit Steinwolle-Dämmstoff wieder. Alle Werte sind auf ein m³ Speichervolumen bezogen.

7. Optimierung von Plus-Energie-Gebäuden

Durch die passende Auswahl und das optimale Zusammenspiel der Architektur, der Gebäudeaufbauten und der Energiebereitstellung im Gebäude, wie sie in den voran gegangenen Kapiteln beschrieben sind, lassen sich Plusenergiegebäude realisieren. Dies wird in den folgenden Unterkapiteln anhand der Modellgebäude (siehe Kapitel 5.2) ausführlich dargestellt. Zunächst folgt eine Darstellung der Spezifikationen der Modellgebäude in ihrer Basisausführung als Niedrigstenergiehaus am Standort Wien, Hohe Warte.

Die Basisausführung beinhaltet die konventionellen Aufbauten (siehe Kapitel 6.4) mit Kunstrahmenfenstern, die Wärmeversorgung durch eine Fußbodenheizung mit Gaskessel, die Stromversorgung aus dem Stromnetz und Standard-Elektrogeräte (siehe Kapitel 6.5). Zwecks Vergleichbarkeit der Ergebnisse sind alle Gebäude mit ihrer Hauptfassade exakt nach Süden orientiert (Varianten NS) bzw. Ost-West bei den Varianten OW. Die Personenbelegung entspricht den jeweiligen Vorgaben in Kapitel 5.2. Tabelle 25 zeigt neben dem jährlichen Heizwärmebedarf, die Kosten (ohne Aushub, Grundstück und Erschließung), den nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf und die CO_2-Emissionen aus Errichtung und Betrieb bis zum Jahr 2050 der Modellgebäude in der Basisausführung.

Tabelle 25: Basisausführung der Modellgebäude am Standort Wien, Hohe Warte; Ergebnisse aus Errichtung und Betrieb bis 2050

Modellgebäude-Bezeichnung	Heizwärme bedarf [kWh/m²a]	Barwert der durchschnittl. Gesamtkosten [EUR]	Nicht-erneuerbarer Primärenergie-bedarf [GJ]	CO_2-Äquivalent [t]
Kleingartenhaus Referenz Fensterfläche klein	4,0	143.012	2,2	136,5
Kleingartenhaus Referenz Fensterfläche mittel	3,7	143.616	2,2	136,1
Kleingartenhaus Referenz Fensterfläche groß	3,3	144.858	2,2	135,4
EFH flach, Referenz, Fensterfläche klein	7,0	167.086	2,5	157,9
EFH flach, Referenz, Fensterfläche mittel	6,3	168.186	2,5	156,5
EFH flach, Referenz, Fensterfläche groß	5,7	170.761	2,5	155,6
EFH flach, Keller, Referenz, Fensterfläche klein	6,1	204.712	3,0	193,7

EFH flach, Keller, Referenz, Fensterfläche mittel	5,5	205.644	3,0	191,7
EFH flach, Keller, Referenz, Fensterfläche groß	4,8	207.961	3,0	189,6
EFH schräg, Referenz, Fensterfläche klein	7,3	171.042	2,4	147,2
EFH schräg, Referenz, Fensterfläche mittel	6,6	172.083	2,4	145,6
EFH schräg, Referenz, Fensterfläche groß	5,9	174.613	2,4	144,5
EFH schräg, Keller, Referenz, Fensterfläche klein	6,3	208.659	2,9	183,0
EFH schräg, Keller, Referenz, Fensterfläche mittel	5,7	209.463	2,9	180,4
EFH schräg, Keller, Referenz, Fensterfläche groß	4,9	211.841	2,9	178,6
Reihenhaus OW, flach, Referenz	0,6	157.141	2,3	148,8
Reihenhaus OW, schräg, Referenz	0,9	161.091	2,2	137,8
RH NS, flach, Referenz Fensterfläche klein	1,8	159.775	2,3	149,5
RH NS, flach, Referenz Fensterfläche mittel	1,7	161.203	2,3	149,7
RH NS, flach, Referenz Fensterfläche groß	1,6	164.091	2,4	150,0
RH NS, schräg, Referenz Fensterfläche klein	1,8	163.660	2,2	139,3
RH NS, schräg, Referenz Fensterfläche mittel	1,7	164.974	2,2	139,0
RH NS, schräg, Referenz Fensterfläche groß	1,6	167.869	2,3	139,2
MFH OW Referenz	0,1	1.138.324	17,2	1086,4
MFH NS Referenz, Fensterfläche Standard	0,0	1.138.324	17,2	1086,4
MFH NS Referenz, Fensterfläche doppelt	0,1	1.149.002	17,3	1089,5
Büro OW, Referenz	9,6	3.830.139	71,7	4266,7
Büro NS, Referenz	7,2	3.798.121	68,6	4065,0
Werkhalle flach, Referenz	49,1	1.922.704	56,0	3516,7
Werkhalle schräg, Referenz	50,1	1.955.843	56,6	3557,2

Vorgehensweise

In weiterer Folge werden die Modellgebäude energetisch, ökologisch und ökonomisch Schritt für Schritt verbessert:

- Die energetische Optimierung zielt auf sämtliche Maßnahmen ab, die den nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf von Errichtung und Betrieb des Gebäudes bis 2050 minimiert.
- Die ökologische Optimierung zielt auf sämtliche Maßnahmen ab, die die CO_2-Emissionen (CO_2-Äquivalent) von Errichtung und Betrieb des Gebäudes bis 2050 minimiert.
- Die ökonomische Optimierung zielt auf sämtliche Maßnahmen ab, die den Barwert der Gesamtkosten des Gebäudes bis 2050 minimiert, wobei jeweils die mittleren Kostenangaben für Aufbauten aus Kapitel 6.4 sowie für Energiebereitstellung und Energiepreise aus Kapitel 6.6 verwendet wurden. Nicht berücksichtigt bei den Errichtungskosten des Gebäudes werden das Verteilsystem für Warmwasser und Heizung, Pumpen, Lüftungsanlagen und Kühlung und dgl. Somit finden alle Standard-Komponenten eines Gebäudes keine Berücksichtigung, sondern nur jene Bauteile, die in der vorliegenden Arbeit einer Variation unterzogen werden.

Dabei ist natürlich zu bedenken, dass eine energetische optimale Variante nicht zwangsläufig auch ökologisch oder ökonomisch die Beste sein muss. Es handelt sich daher nicht um ein Optimum unter Randbedingungen sondern stets um das Optimum einer der drei Zieldimensionen. Unter realen Gegebenheiten stellt das verfügbare Kapital üblicherweise die zentrale Restriktion von Investitionsentscheidungen dar. Daher ist davon auszugehen, dass jeweils die ökonomische Variante der Praxis am nächsten kommt, wenngleich durch Einschränkungen hinsichtlich des energetischen und des ökologischen Optimums in Kauf genommen werden müssen.

Methodik

Methodisch wird für die energetische Optimierung auf die in Kapitel 4.3 beschriebenen Grundlagen zurückgegriffen. Die ökologische Optimierung ist in Kapitel 6.3 und 6.6 eingehend dargelegt. Beide greifen für die jährliche Bilanzierung und die Betrachtung von Errichtung und Betrieb der Gebäude auf die Primärenergie- und CO2-Emmsionsonsfaktoren aus Kapitel 4.4 zu. Die ökonomische Optimierung folgt dem Ansatz aus Kapitel 4.3, wobei wesentliche Daten zu Energiepreisen und Lebensdauern und daraus resultierenden Erneuerungszyklen in Kapitel 6.6 beschrieben sind.

Varianten

Es stehen folgende Variationsmöglichkeiten der Modellgebäude zur Verfügung, die näher untersucht wurden.

Architektur:

- Fensterfläche klein – groß – mittel
- Orientierung des Gebäudes
- Schrägdach / Flachdach
- Keller (optional)

Aufbauten:

- Konventionell
- Konventionell-ökologisch
- Ökologisch
- Kunststoff-, Aluminium- oder Holzrahmenfenster

Elektrogeräteausstattung

- Standardgeräte
- Effiziente Elektrogeräte

Heizsystem (Fußbodenheizung) und Warmwasserbereitung:

- Gaskessel
- Pelletkessel
- Fernwärme
- Wasser/Wasser Wärmepumpe
- Sole/Wasser Wärmepumpe
- Luft/Wasser Wärmepumpe
- Außenluft/Zuluft Wärmepumpe
- Zusätzlich Solarthermie mit Schichtspeicher (im Bivalenz-Betrieb)

Eigenstromversorgung neben dem Netzanschluss optional mit

- Photovoltaik
- Kleinwindkraft

Standort

- Wien Hohe Warte
- Innsbruck Universität
- Klagenfurt
- Mallnitz
- Radstadt

7.1. Kleingartenhaus

7.1.1. Energetische Optimierung

Abbildung 113 zeigt die energetische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche groß (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holz-Aluminiumrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holzrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte (5), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).
Gut erkennbar sind der große Sprung von konventionellen Aufbauten (1) hin zu ökologischen Aufbauten (3) sowie die Verbesserung durch Substitution des Gaskessels durch Fernwärme (5) und dem Einsatz von Photovoltaik (6).

Tabelle 26: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik + Windkraft

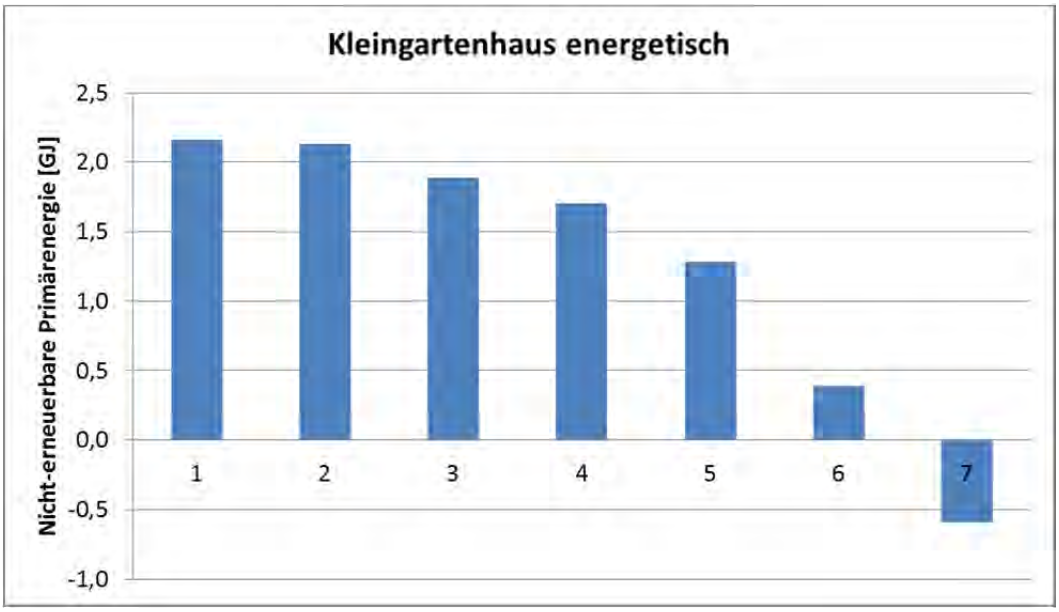


Abbildung 113: Die energetische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Der Einsatz einer Kleinwindkraftanlage ist aus primärenergetischer Sicht vor allem eine Frage des Standortes, wie in Abbildung 114 ersichtlich ist. Durch die günstigen Windverhältnisse am Standort Wien, ist dort – ungeachtet der Rahmenbedingungen – die Verwendung einer Kleinwindkraftanlage überlegenswert, während sie an den anderen Standorten kaum oder vergleichsweise geringe Verbesserungen mit sich bringt. Ebenso ist die Erzielung einer negativen Primärenergiebilanz über den Betrachtungszeitraum eine Frage des Standorts.

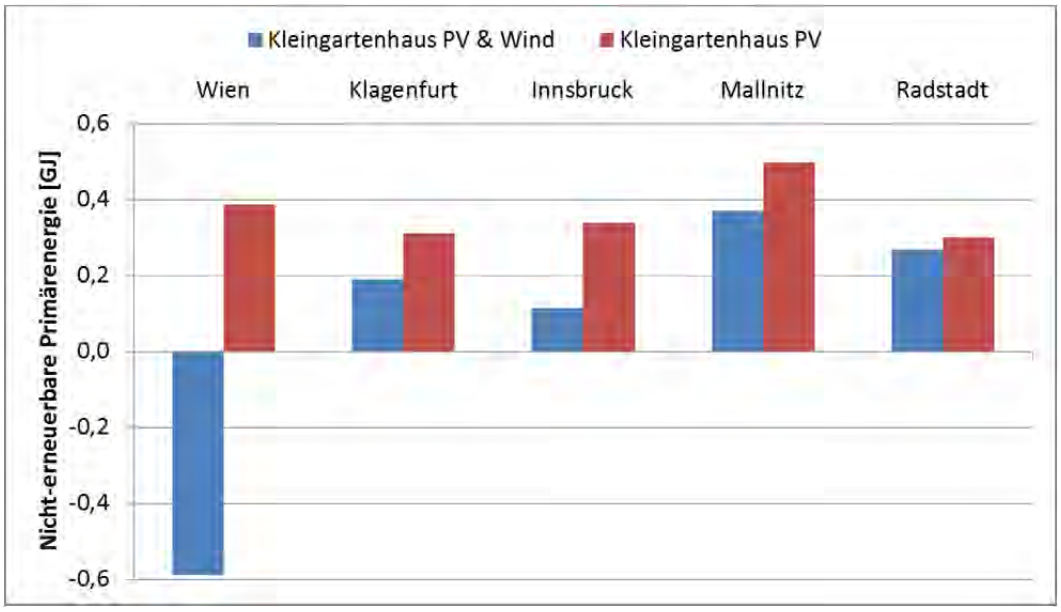


Abbildung 114: Die energetisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.1.2. Ökologische Optimierung

Abbildung 115 zeigt die ökologische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien. Den Ausgangspunkt bildet ein Standardaufbau mit Fensterfläche klein, Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen Standardaufbau, Fensterfläche mittel, Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), Standardaufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), Konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (4), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (5), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (6), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte (7), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Solarthermie (8), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (9), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (10). Gut erkennbar ist der große Sprung von konventionellen Aufbauten (3) hin zu ökologischen Aufbauten (5). Mit ökologischem Aufbau, einem Pelletkessel und effizienten Elektrogeräten ist die Optimierung des Gebäudes und der Wärmebereitstellung abgeschlossen (7). Durch den Einsatz von Photovoltaik (9) und die zusätzliche Ergänzung um eine Kleinwindkraftanlage (10) lassen sich bis 2050 sogar negative Treibhausgasemissionen erzielen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die Einspeisung von überschüssigem erneuerbaren Strom in das Netz durch die Substitution des Grenzkraftwerkes entsprechend der Merit-Order günstig bewertet ist.

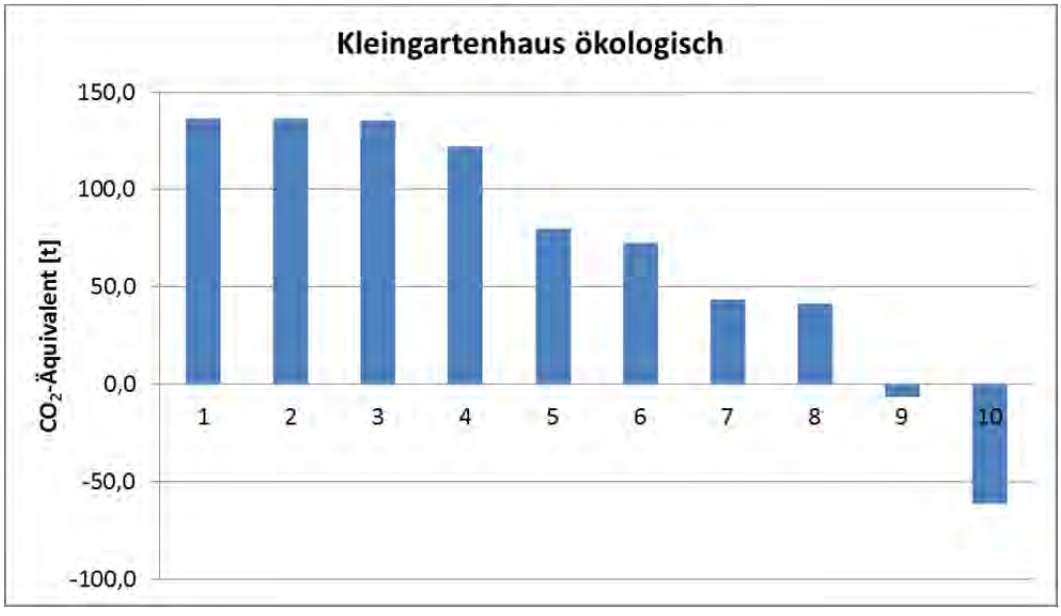


Abbildung 115: Die ökologische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Tabelle 27: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Mittlere Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	keine
8	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Solarthermie
9	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik
10	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik + Windkraft

Abbildung 116 zeigt die ökologisch günstigste Variante Nr. 10 aus Abbildung 115 an unterschiedlichen Standorten. Damit wird deutlich, wie groß der Einfluss des Standortes auf die erzielbaren Treibhausgasreduktionspotentiale ist. Insbesondere die Kleinwindkraft ist – ungeachtet der rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen - bezüglich der örtlichen Windverhältnisse extrem sensitiv in ihrem wirksamen, ökologischen Beitrag.

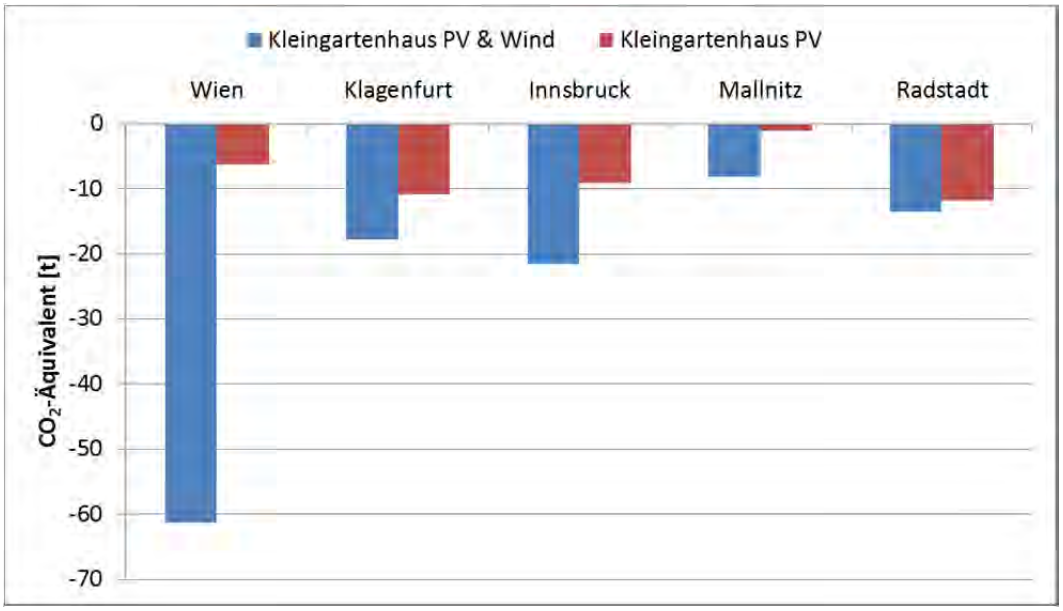


Abbildung 116: Die ökologisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.1.3. Ökonomische Optimierung

Abbildung 117 zeigt die ökonomische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche groß (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventioneller Aufbau, Fensterfläche mittel (2), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein (3), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte (5), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7). Von den Errichtungskosten ist die Variante fünf am günstigsten, durch wesentlich geringere Betriebskosten scheiden in einer Betrachtung über den gesamten Zeitraum von 2012 bis 2050 aber die Varianten sechs und sieben besser ab, wobei die Variante sieben leicht negative Stromkosten erzielt.

Abermals wird die Standortabhängigkeit bei den Kosten sichtbar; nur am windbegünstigten Standort Wien ist der Einsatz einer Kleinwindkraftanlage auch ohne Förderungen wirtschaftlich vertretbar (siehe Abbildung 118).

Tabelle 28: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Mittlere Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
3	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
4	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Gaskessel	keine
5	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	keine
6	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik
7	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik + Windkraft

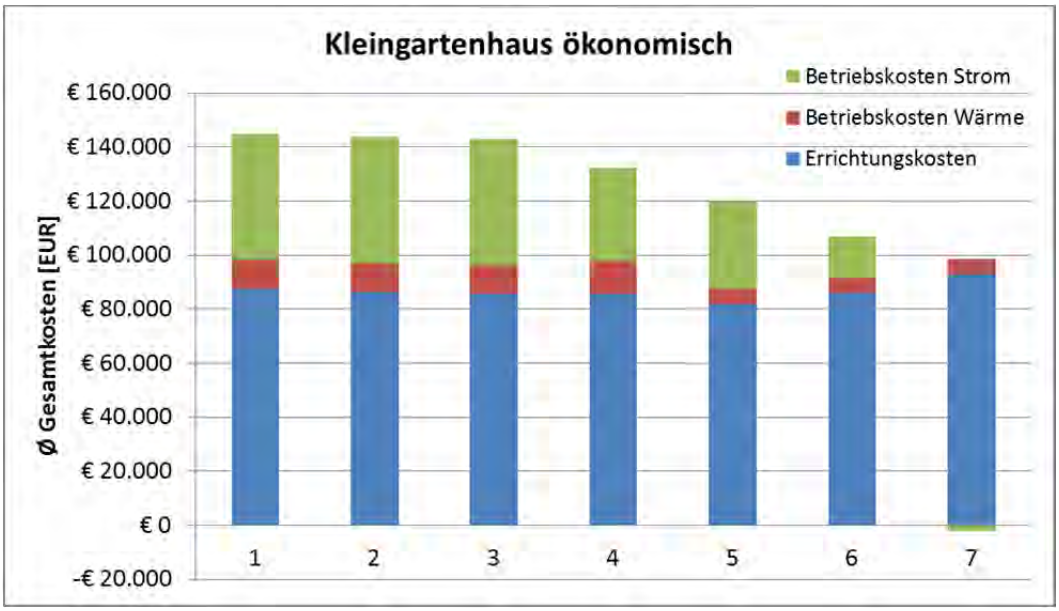


Abbildung 117: Die ökonomische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

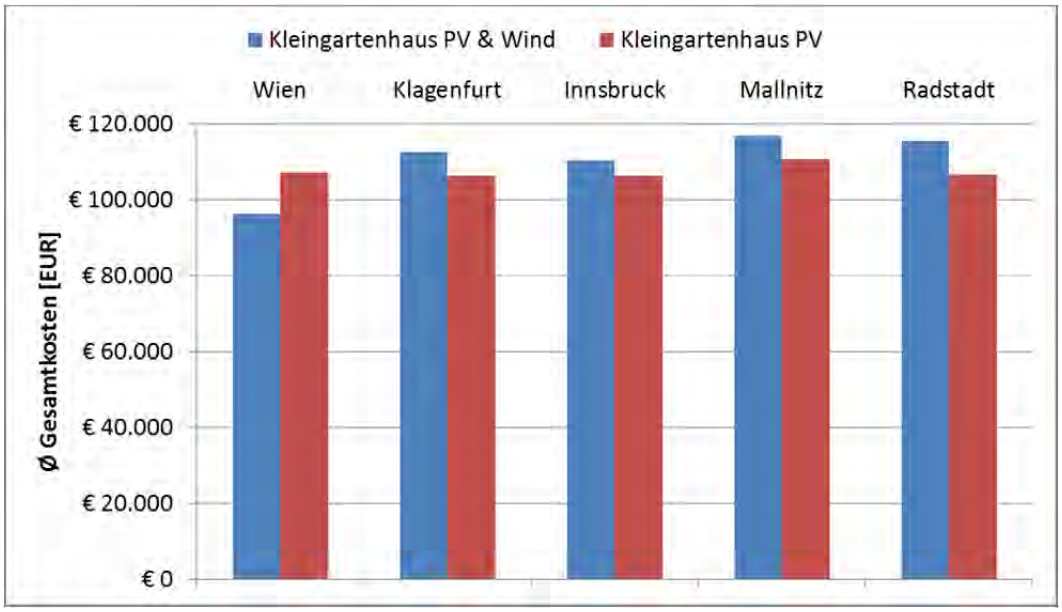


Abbildung 118: Die ökonomisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.2. Einfamilienhaus

7.2.1. Energetische Optimierung

Abbildung 119 zeigt die energetische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche groß (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holz-Aluminiumrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holzrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte (5), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).
Gut erkennbar sind der große Sprung von konventionellen Aufbauten (1) hin zu ökologischen Aufbauten (3) sowie die Verbesserung durch Substitution des Gaskessels durch Fernwärme (5) und dem Einsatz von Photovoltaik (6). Naturgemäß schneiden die Gebäude ohne Keller besser ab. Die Varianten mit Flachdach sind aus energetischer Sicht besser als jene mit Schrägdach. Die Standortabhängigkeit wird wiederum in Abbildung 120 sichtbar.

Tabelle 29: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik + Windkraft

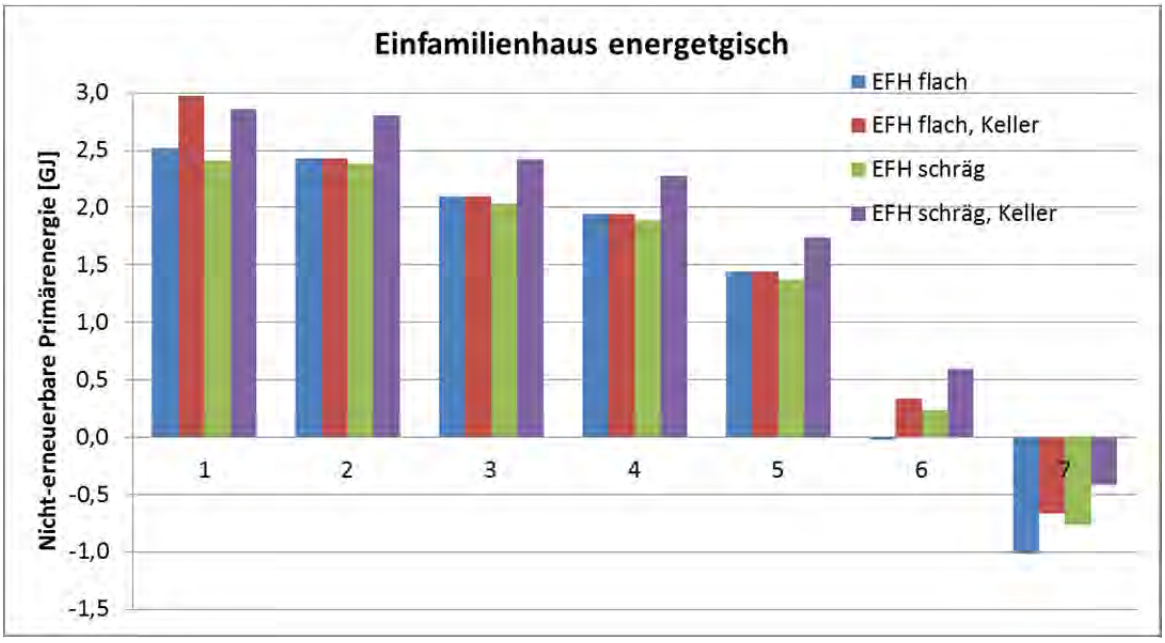


Abbildung 119: Die energetische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

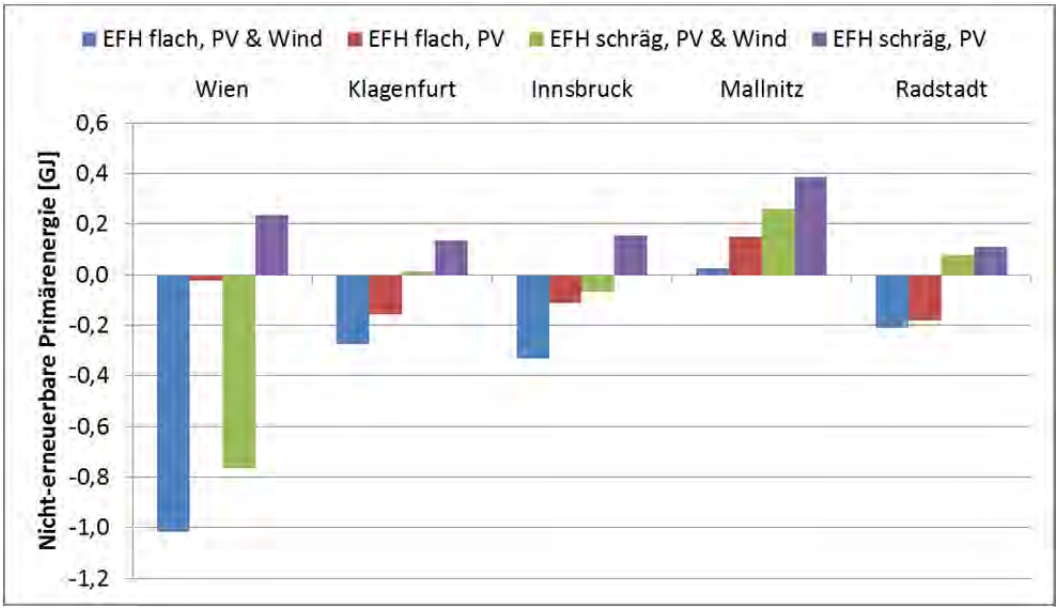


Abbildung 120: Die energetisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.2.2. Ökologische Optimierung

Abbildung 121 zeigt die ökologische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien. Den Ausgangspunkt bildet ein Standardaufbau mit Fensterfläche groß, Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), ökologischer Aufbau,

Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte (5), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).

Tabelle 30: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik + Windkraft

Die Ergebnisse der ökologischen Optimierung, wie in Abbildung 121 und Abbildung 122 dargestellt, korrespondiert dabei weitgehend mit der energetischen Optimierung.

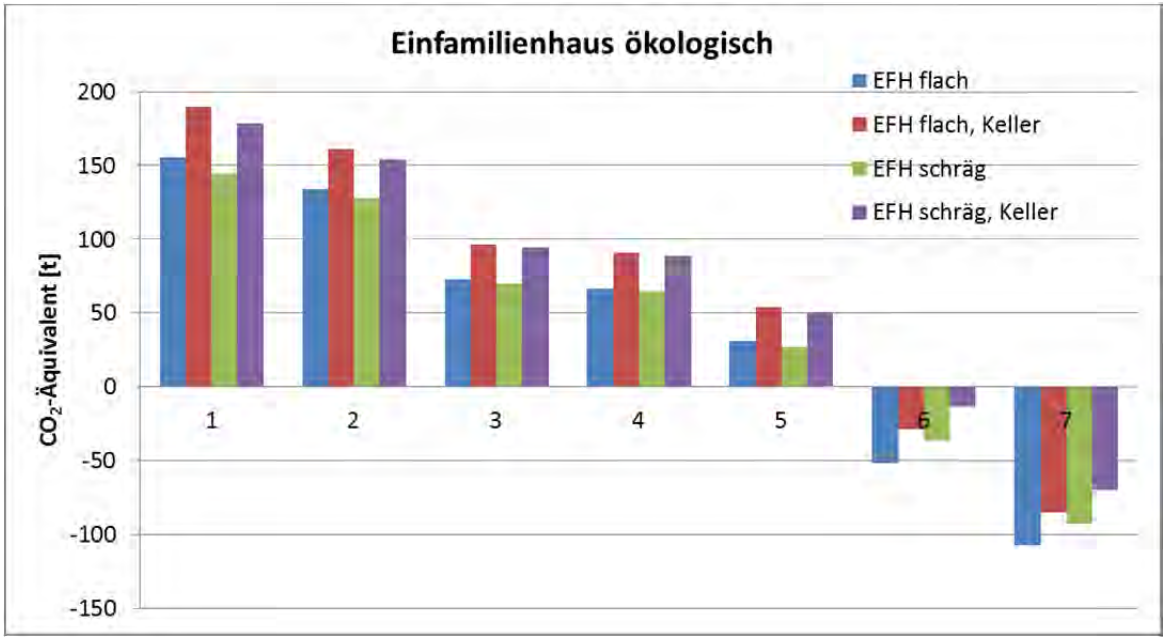


Abbildung 121: Die ökologische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

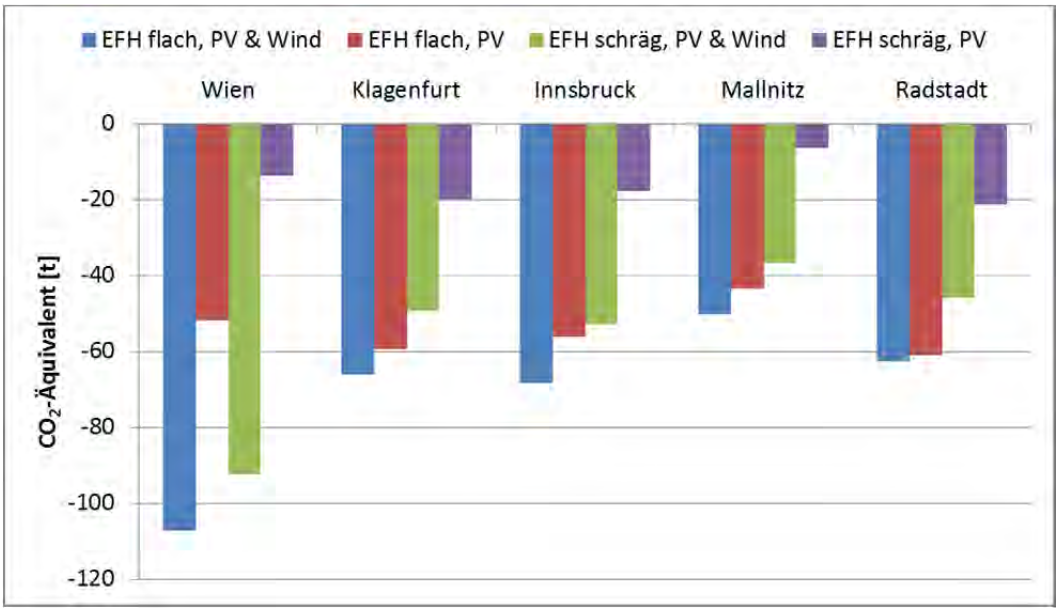


Abbildung 122: Die ökologisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.2.3. Ökonomische Optimierung

Abbildung 123 zeigt die ökonomische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche klein (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (2), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte (3), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (4), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (5). Am kostengünstigsten – wenngleich architektonisch wenig reizvoll – ist die Ausführung mit einem Flachdach. Abermals wird die Standortabhängigkeit bei den Kosten sichtbar; nur am windbegünstigten Standort Wien ist der Einsatz einer Kleinwindkraftanlage wirtschaftlich vertretbar (siehe Abbildung 124).
Bei allen Modellgebäuden ist aus heutiger, ökonomischer Sicht die konventionelle Bauweise günstiger als die konventionell-ökologische und die ökologische Variante der Aufbauten.

Tabelle 31: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Gaskessel	keine
3	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	keine
4	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik
5	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik + Windkraft

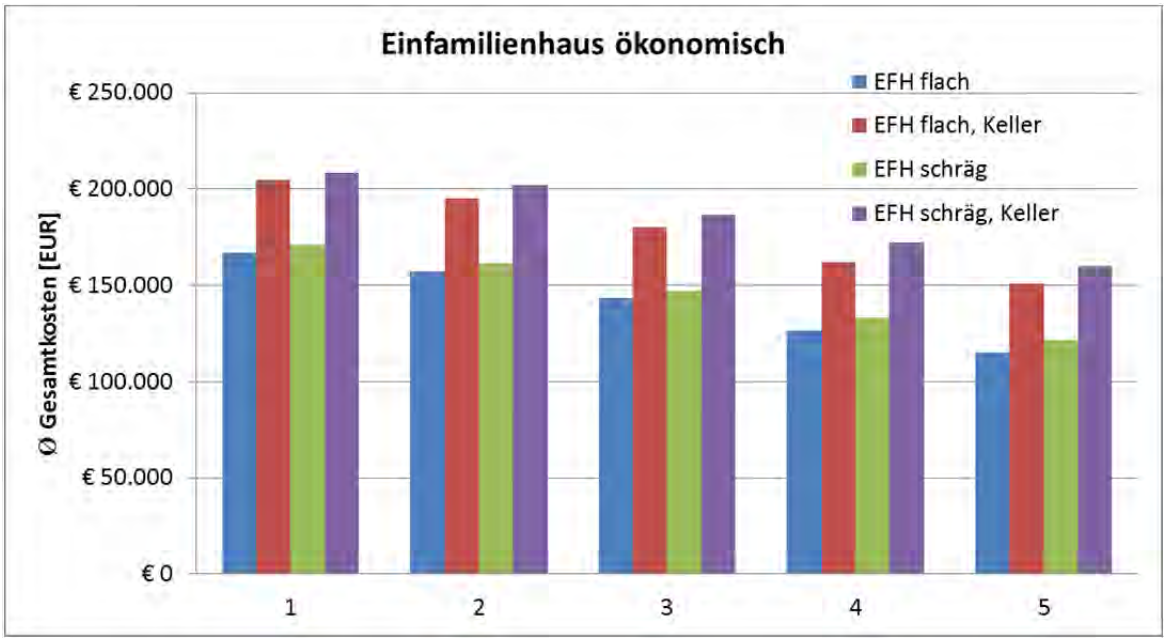


Abbildung 123: Die ökonomische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

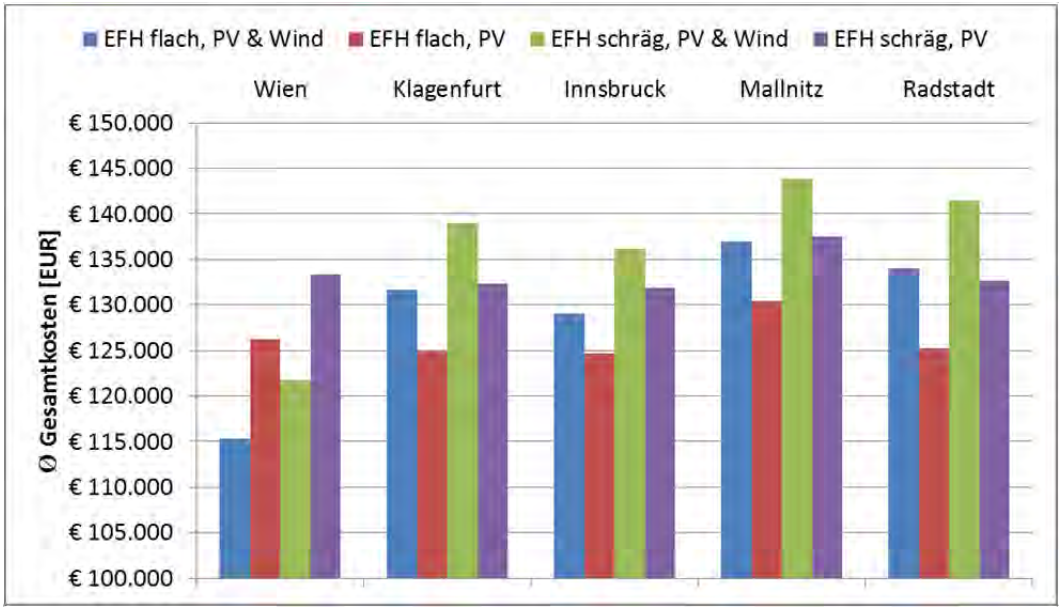


Abbildung 124: Die ökonomisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.3. Reihenhaus

7.3.1. Energetische Optimierung

Abbildung 125 zeigt die energetische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche groß (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holz-Aluminiumrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holzrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte (5), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).
Gut erkennbar sind der große Sprung von konventionellen Aufbauten (1) hin zu ökologischen Aufbauten (3) sowie die Verbesserung durch Substitution des Gaskessels durch Fernwärme (5) und dem Einsatz von Photovoltaik (6). Während die Nord-Süd-orientierten Gebäude in der passiven Optimierung etwas schlechter als die Ost-West-Gebäude abschneiden, sind sie in Bezug auf die Nutzung von Photovoltaik und Windkraft etwas besser geeignet. Die Standortabhängigkeit wird wiederum in Abbildung 126 sichtbar.

Tabelle 32: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik + Windkraft

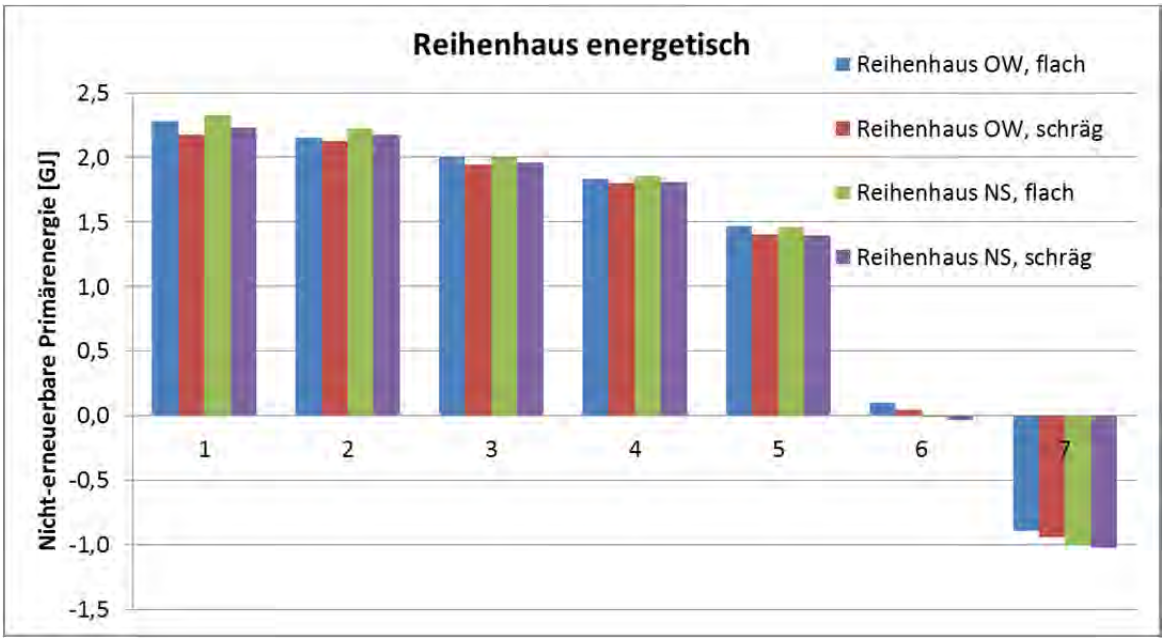


Abbildung 125: Die energetische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

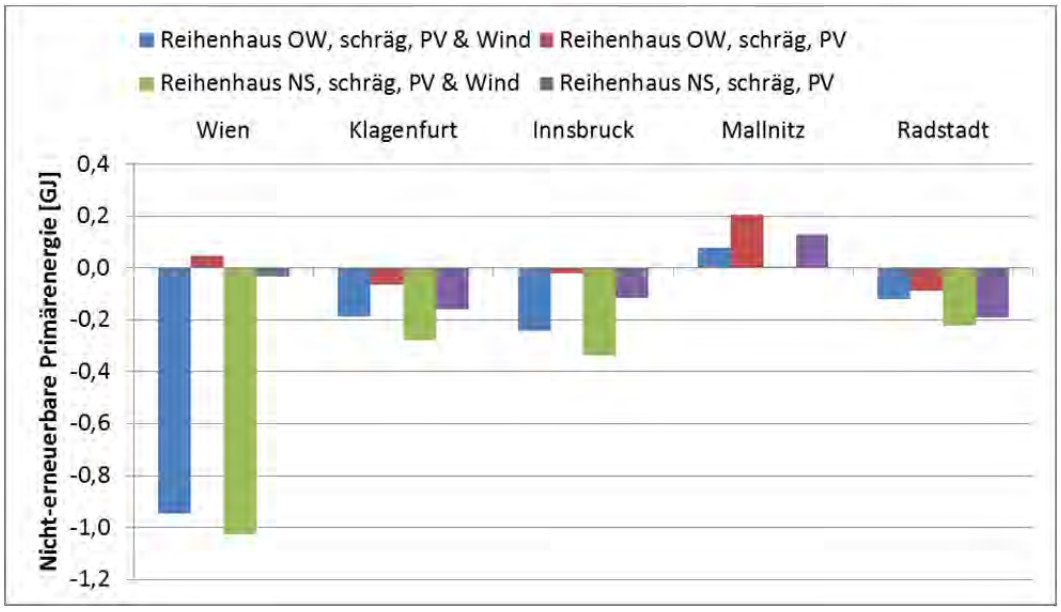


Abbildung 126: Die energetisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.3.2. Ökologische Optimierung

Abbildung 127 zeigt die ökologische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien. Den Ausgangspunkt bildet ein Standardaufbau mit Fensterfläche groß, Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte (5), ökologischer Aufbau, Fensterfläche

groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).
Der Vergleich der ökologisch günstigsten Varianten an unterschiedlichen Standorten zeigt Abbildung 128.

Tabelle 33: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik + Windkraft

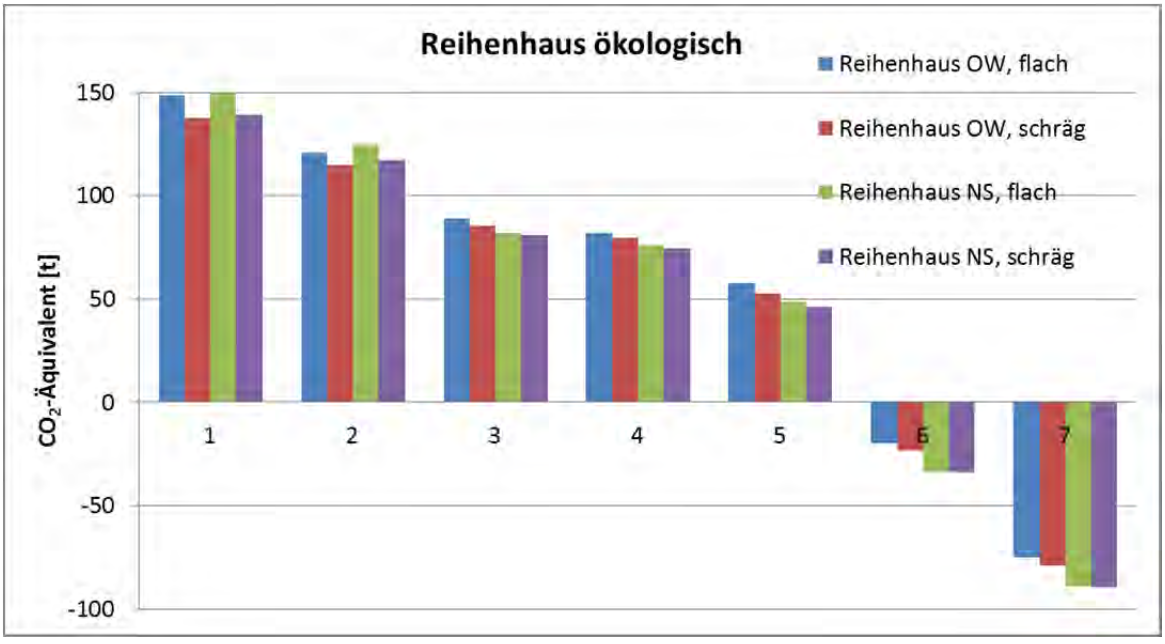


Abbildung 127: Die ökologische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

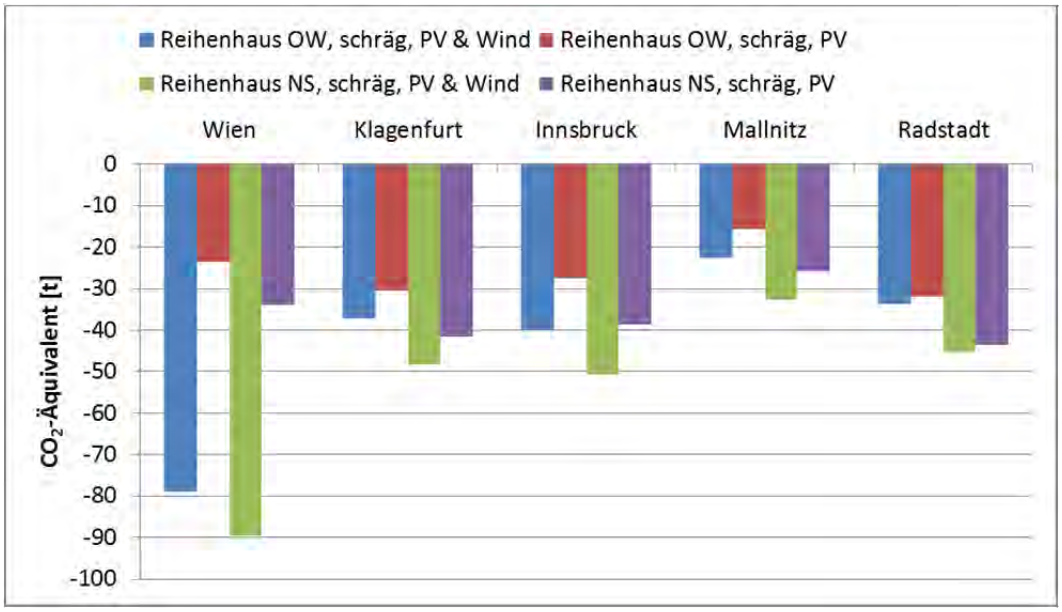


Abbildung 128: Die ökologisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.3.3. Ökonomische Optimierung

Abbildung 129 zeigt die ökonomische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche klein (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (2), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte (3), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (4), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (5).

Am kostengünstigsten – wenngleich architektonisch wenig reizvoll – ist die Ausführung mit einem Flachdach. Abermals wird die Standortabhängigkeit bei den Kosten sichtbar; nur am windbegünstigten Standort Wien ist der Einsatz einer Kleinwindkraftanlage wirtschaftlich vertretbar (siehe Abbildung 130).

Tabelle 34: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Gaskessel	keine
3	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	keine
4	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik
5	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik + Windkraft

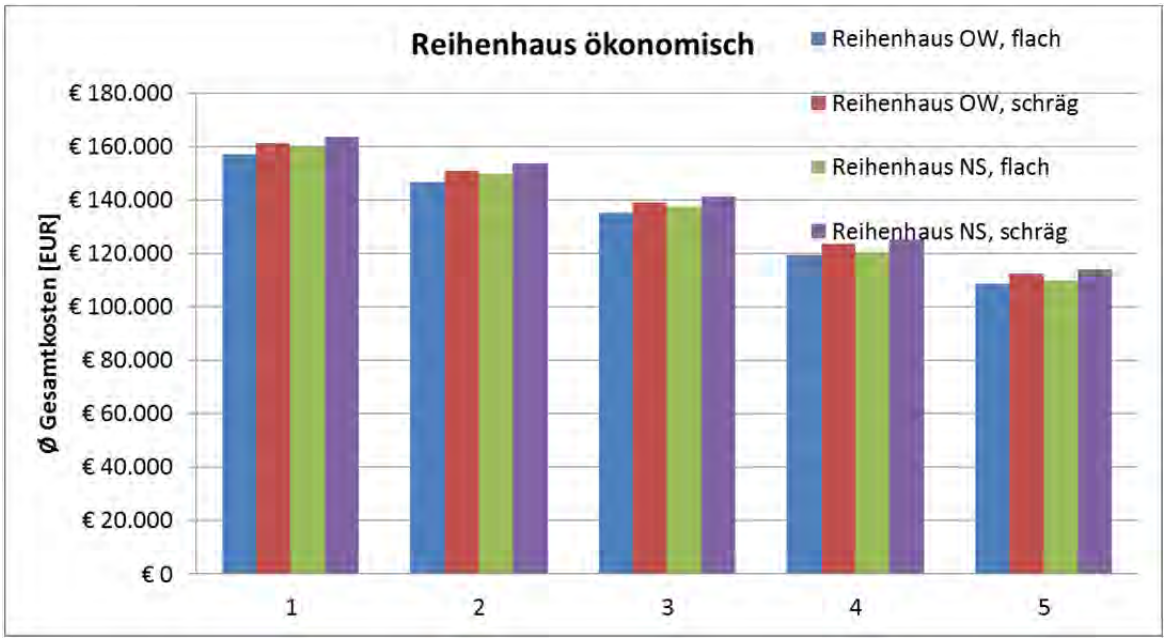


Abbildung 129: Die ökonomische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

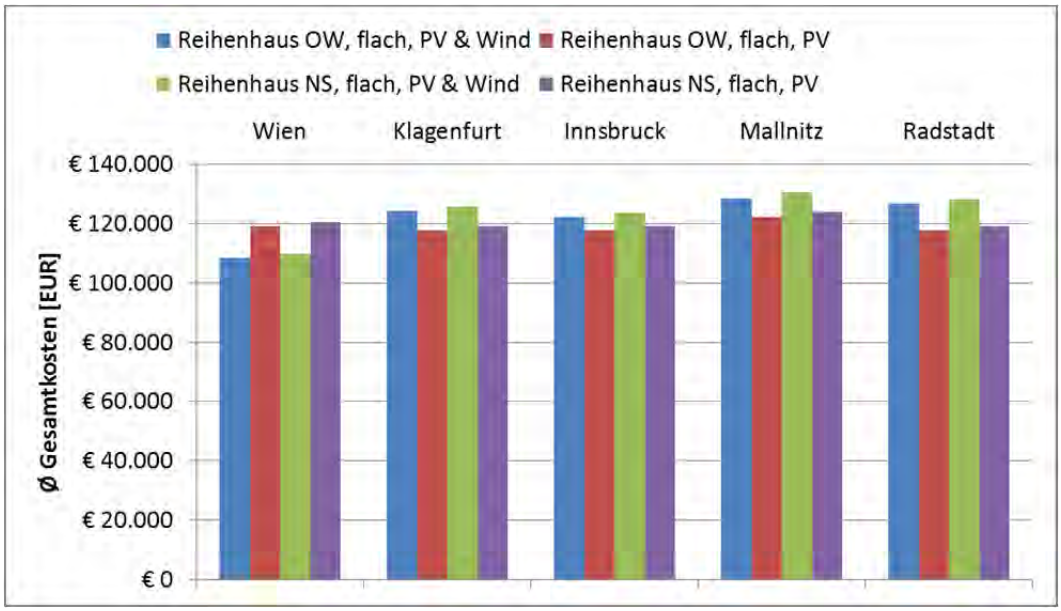


Abbildung 130: Die ökonomisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.4. Mehrfamilienwohnhaus

7.4.1. Energetische Optimierung

Abbildung 131 zeigt die energetische Optimierung der Mehrfamilienhäuser am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche groß (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holz-Aluminiumrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holzrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte (5), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).

Tabelle 35: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik + Windkraft

Gut erkennbar sind der große Sprung von konventionellen Aufbauten (1) hin zu ökologischen Aufbauten (3) sowie die Verbesserung durch Substitution des Gaskessels durch einen Pelletkessel (5) und dem Einsatz von Photovoltaik (6). Bei den ob genannten Modellgebäuden schneidet aus energetischer Sicht die Fernwärme knapp am besten als Heizsystem ab. Beim Mehrfamilienhaus und den weiteren, nachfolgenden Gebäuden ist der Pelletkessel im Vorteil. Die Orientierung des Gebäudes auf die Optimierungsschritte 1-5 hat kaum Auswirkungen, doch ist die große Südfläche beim Nord-Süd-orientierten Gebäude für

den Einsatz von Photovoltaik klar im Vorteil. Die Standortabhängigkeit der Mehrfamilienwohnhäuser wird wiederum in Abbildung 132 sichtbar, wobei dieser Gebäudetyp vorwiegend in innerstädtischen Lagen vorzufinden sein wird.

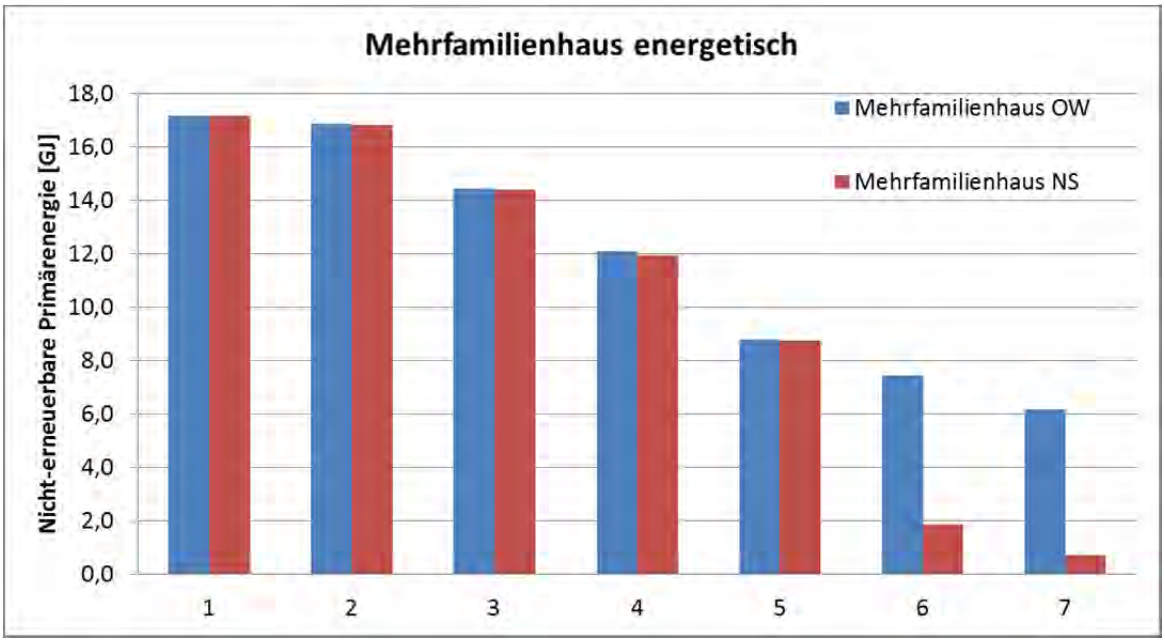


Abbildung 131: Die energetische Optimierung der Mehrfamilienhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

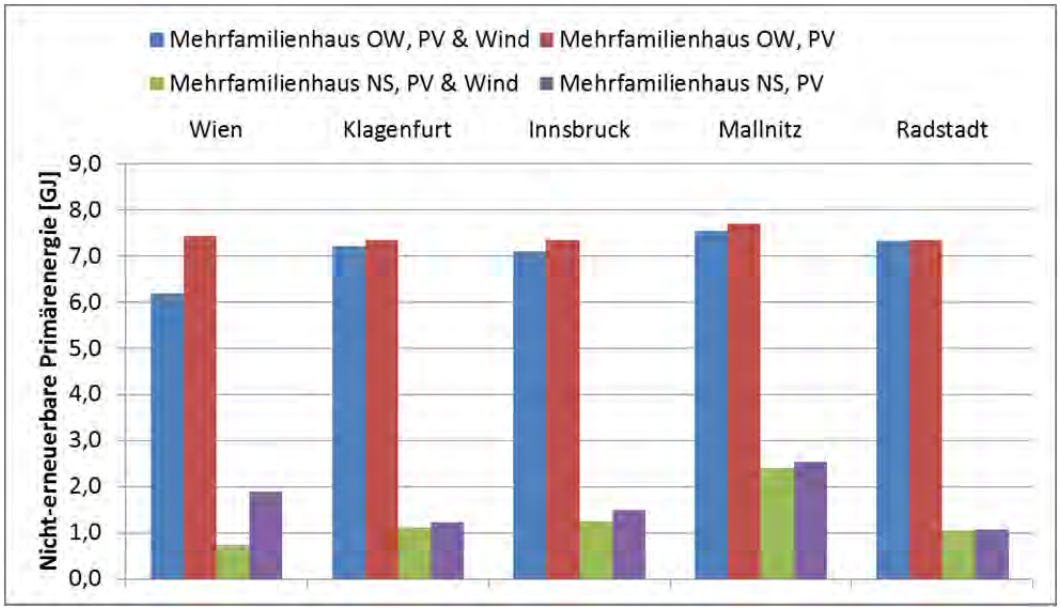


Abbildung 132: Die energetisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.4.2. Ökologische Optimierung

Tabelle 36: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik + Windkraft

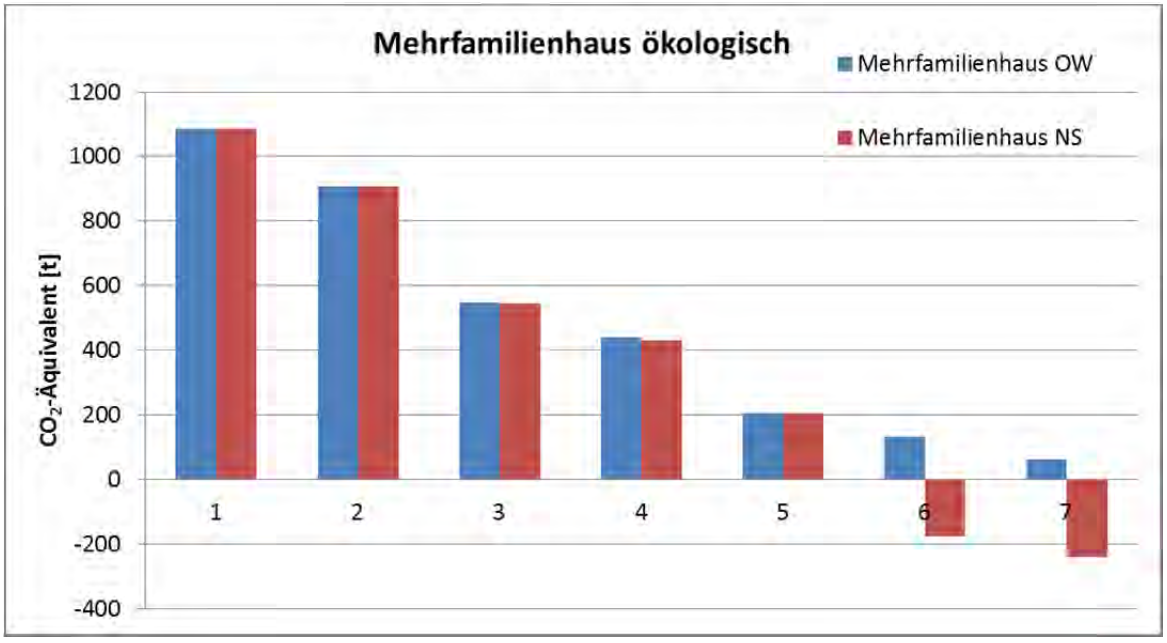


Abbildung 133: Die ökologische Optimierung der Mehrfamilienhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Abbildung 133 zeigt die ökologische Optimierung der Mehrfamilienwohnhäuser am Standort Wien. Den Ausgangspunkt bildet ein Standardaufbau mit Fensterfläche groß, Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (2),

ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte (5), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).

Die Ergebnisse verhalten sich ähnlich wie bei der energetischen Optimierung der Mehrfamilienwohnhäuser; die Nord-Süd-orientierte Variante schneidet durch das höhere Photovoltaik-Flächenpotential wesentlich besser als die Ost-West-orientierte Variante ab und erzielt über den Betrachtungszeitraum sogar eine negative CO_2-Bilanz.

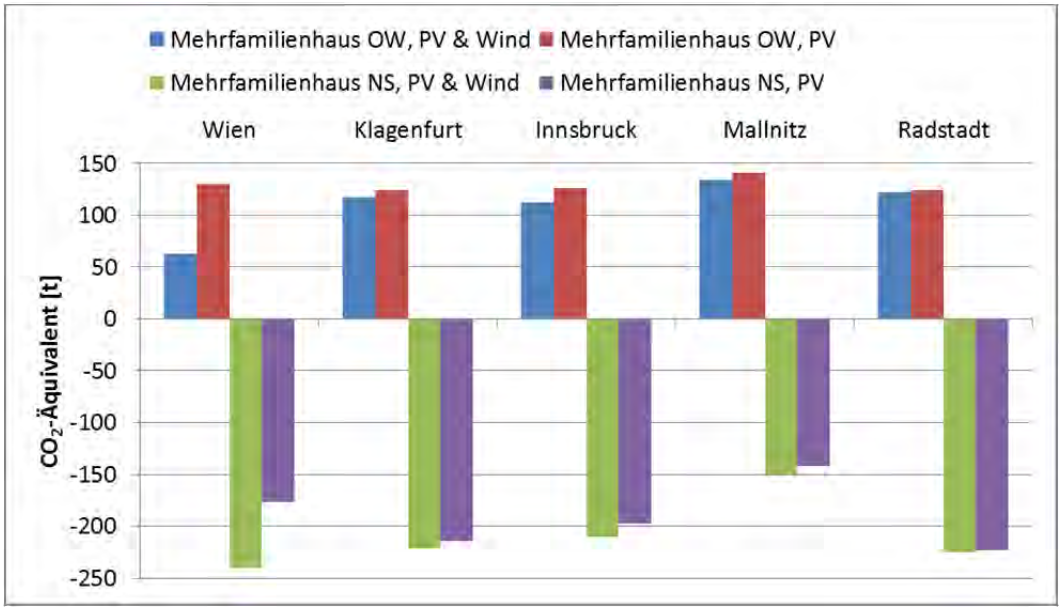


Abbildung 134: Die ökologisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.4.3. Ökonomische Optimierung

Abbildung 135 zeigt die ökonomische Optimierung der Mehrfamilienwohnhäuser am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche klein (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (2), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte (3), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (4), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Fernwärme, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (5).

Tabelle 37: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Gaskessel	keine
3	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	keine
4	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik
5	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Fernwärme	Photovoltaik + Windkraft

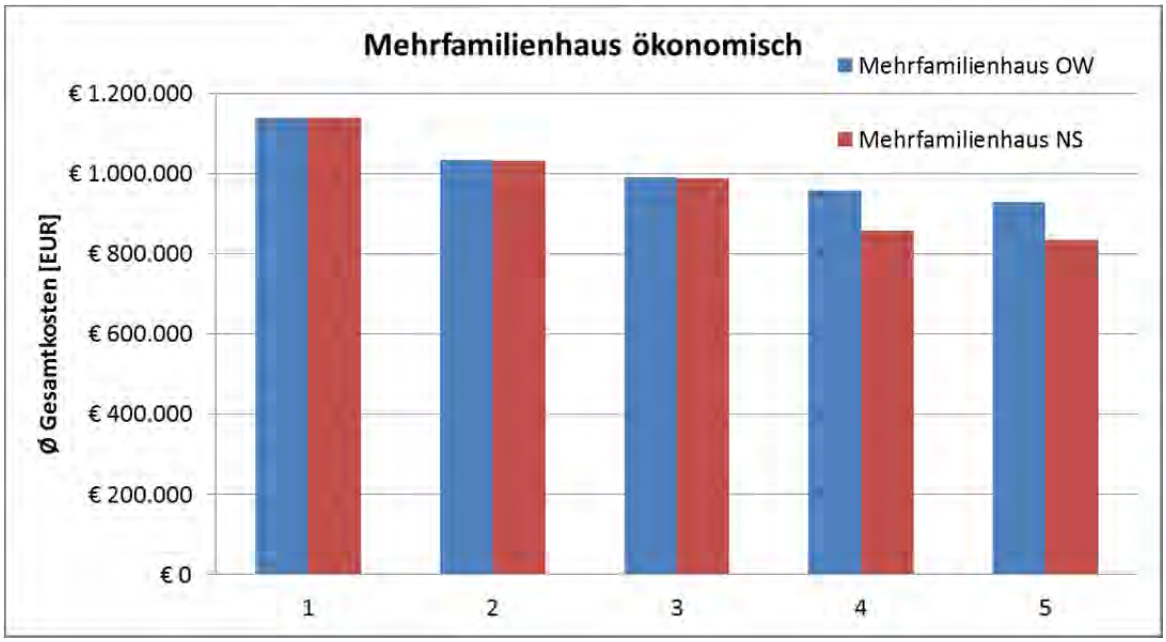


Abbildung 135: Die ökonomische Optimierung der Mehrfamilienhäuser am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Abermals wird die Standortabhängigkeit bei den Kosten sichtbar; nur am windbegünstigten Standort Wien ist der Einsatz einer Kleinwindkraftanlage wirtschaftlich vertretbar (siehe Abbildung 136). Wie bei der energetischen und der ökologischen Optimierung wird auch hier der große Kostenunterschied zwischen der Nord-Süd- und der Ost-West-orientierten Variante der Mehrfamilienwohnhäuser sichtbar.

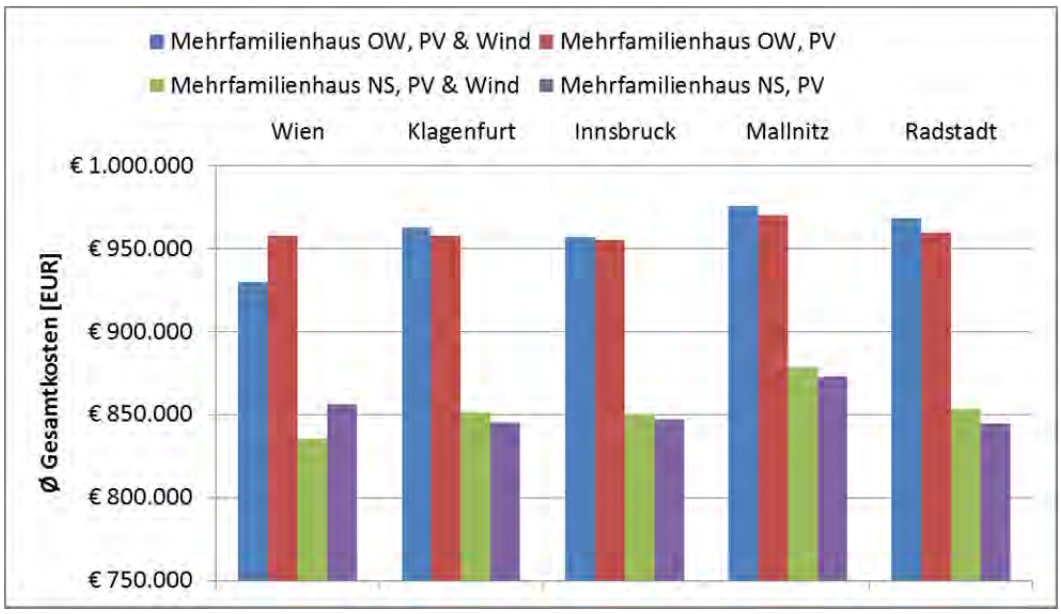


Abbildung 136: Die ökonomisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

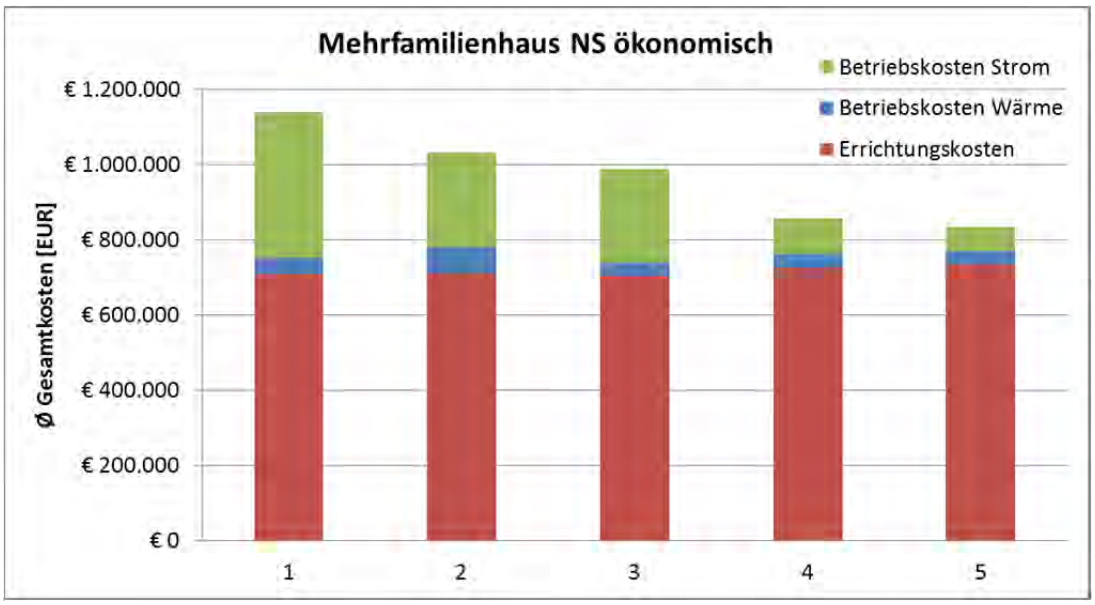


Abbildung 137: Kostengliederung des Mehrfamilienhauses NS am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.5. Bürogebäude und Gewerbebetrieb

7.5.1. Energetische Optimierung

Abbildung 138 zeigt die energetische Optimierung von Bürogebäude und Gewerbebetrieb am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche groß (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holz-Aluminiumrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß (Holzrahmen), Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte (5), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).
Gut erkennbar sind der große Sprung von konventionellen Aufbauten (1) hin zu ökologischen Aufbauten (3) sowie die Verbesserung durch Substitution des Gaskessels durch einen Pelletkessel (5) und dem Einsatz von Photovoltaik (6).

Tabelle 38: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik + Windkraft

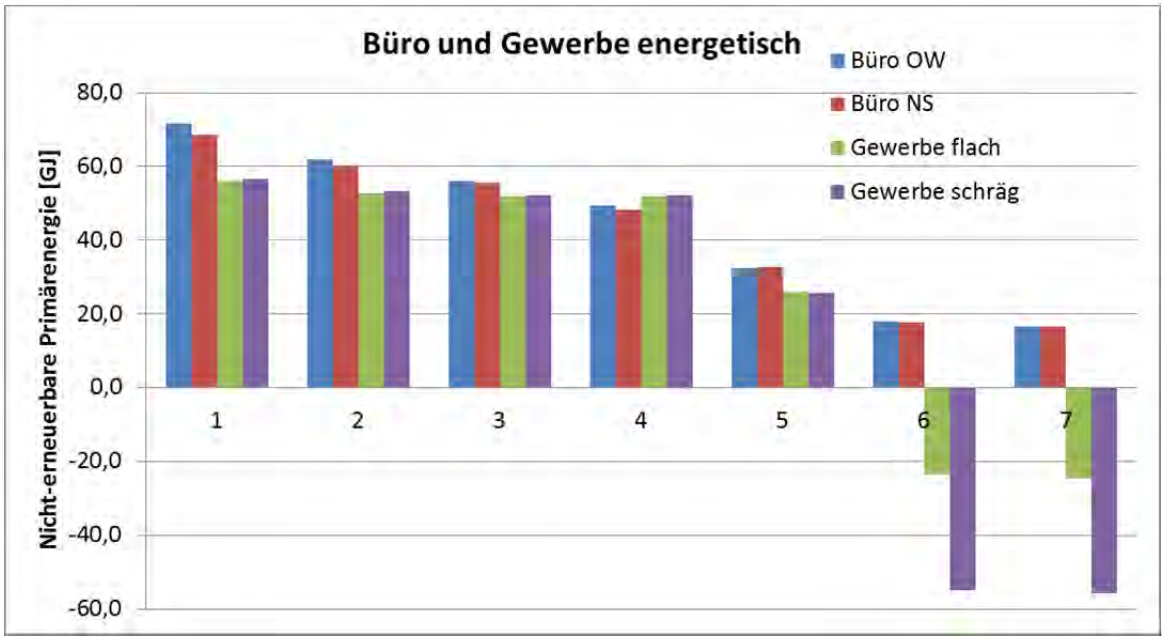


Abbildung 138: Die energetische Optimierung von Büro und Gewerbe am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Die Standortabhängigkeit der besten Büro-Variante wird in Abbildung 139 sichtbar. Unter Ausnutzung sämtlicher Dachflächen für Photovoltaik ist es nicht möglich, eine negative Primärenergiebilanz des Gebäudes über den Lebenszyklus zu erreichen. Nicht berücksichtigt ist jedoch eine allfällige Integration von Photovoltaik-Modulen in südseitig orientierte Fassadenflächen, die die Primärenergiebilanz bei entsprechender Verschattungsfreiheit weiter verbessern kann. Dennoch besteht auch ohne Berücksichtigung von fassadenintegrierter Photovoltaik ein Verbesserungspotential von etwa 75% im Vergleich zum Ausgangszustand (1).

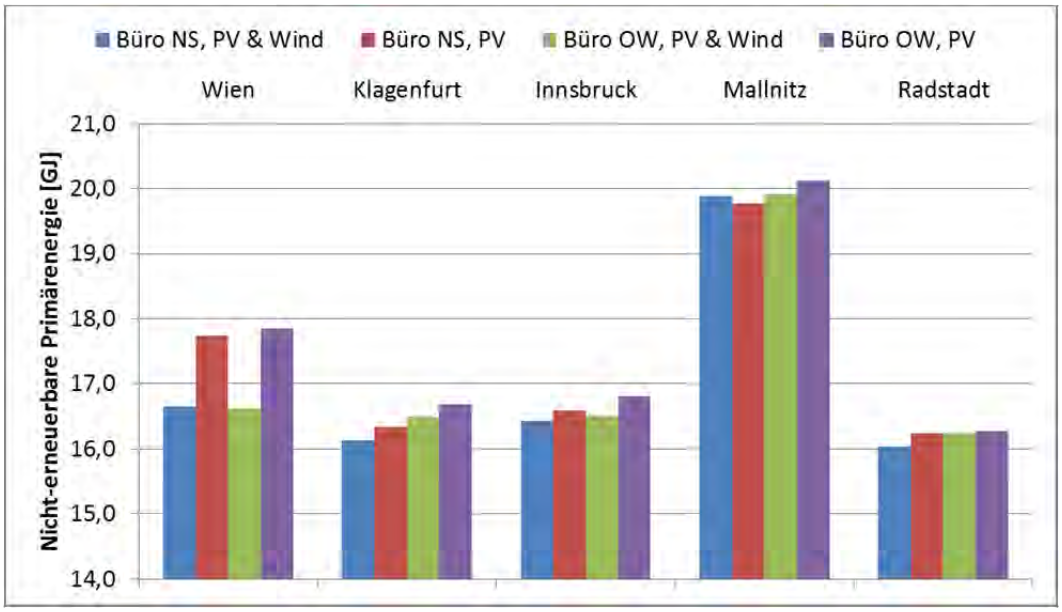


Abbildung 139: Die energetisch günstigste Büro-Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

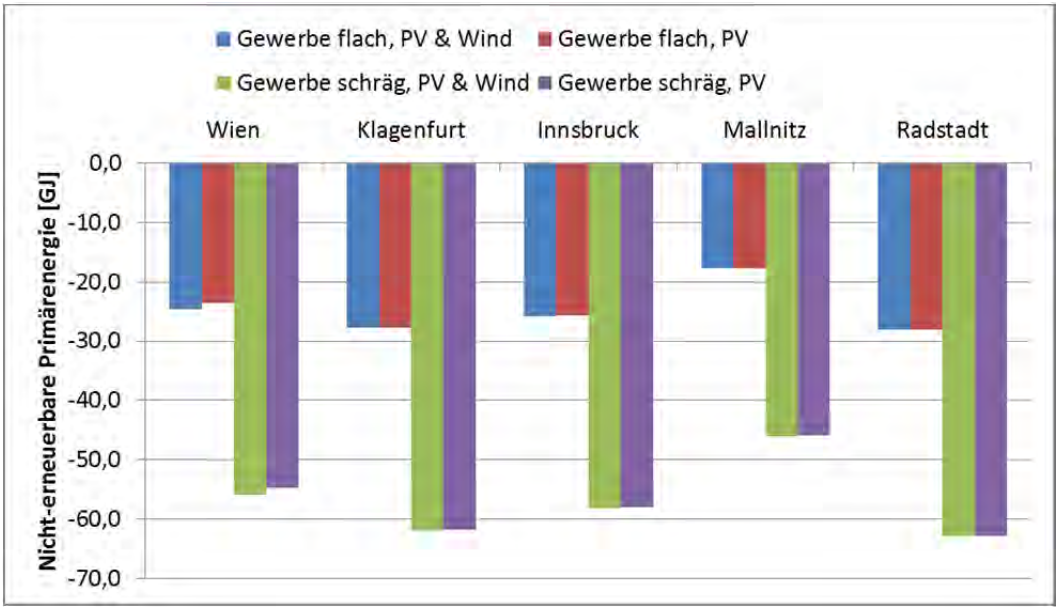


Abbildung 140: Die energetisch günstigste Gewerbe-Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Im Gewerbebetrieb (siehe Abbildung 140) ist es an allen Standorten möglich eine negative Primärenergiebilanz bis 2050 zu erreichen, wobei die Halle mit Schrägdach aufgrund der Besserung Nutzungsmöglichkeit für Photovoltaik besser geeignet ist. Das große Photovoltaik-Flächenpotential ist auch für die vergleichsweise geringe Relevanz der Kleinwindkraft verantwortlich.

7.5.2. Ökologische Optimierung

Abbildung 141 zeigt die ökologische Optimierung von Bürogebäude und Gewerbebetrieb am Standort Wien. Den Ausgangspunkt bildet ein Standardaufbau mit Fensterfläche groß, Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventionell-ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (2), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Standard-E-Geräte (3), Ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (4), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte (5), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (6), ökologischer Aufbau, Fensterfläche groß, Pelletkessel, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (7).

Tabelle 39: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Große Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Große Fensterflächen (Holz-Aluminiumrahmen)	Konventionell-ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
3	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Standard	Gaskessel	keine
4	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Gaskessel	keine
5	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	keine
6	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik
7	Große Fensterflächen (Holzrahmen)	Ökologisch	Effizient	Pelletskessel	Photovoltaik + Windkraft

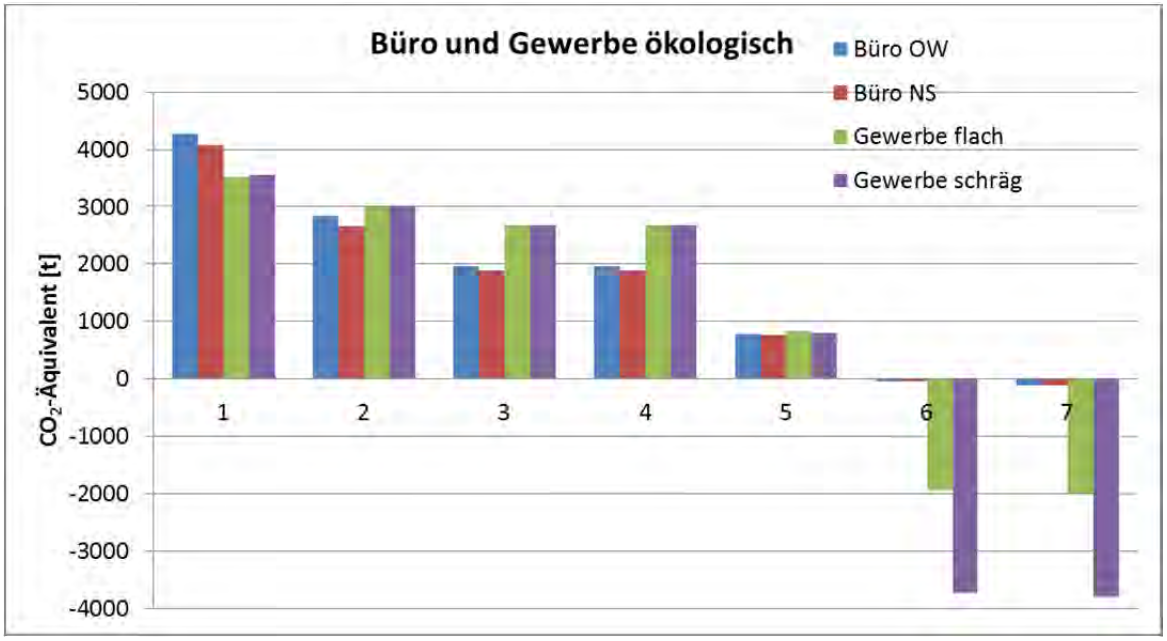


Abbildung 141: Die ökologische Optimierung von Büro und Gewerbe am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Im Gegensatz zu energetischen Betrachtung über die Primärenergiebilanz ist es bei einer ökologischen Optimierung des Bürogebäudes möglich, eine negative CO_2-Bilanz zu erzielen, wie in Abbildung 142 ersichtlich ist. Eine Ausnahme bildet der inneralpine Standort Mallnitz, wo dies aufgrund der klimatischen Bedingungen unter den gesetzten Annahmen der Gebäudeausstattung nicht möglich ist. Mit einer fassadenintegrierten Photovoltaik-Anlage ist

aber auch für diesen Standort von einer negativen CO_2-Bilanz über den Betrachtungszeitraum bis 2050 auszugehen.
Die eindeutig negative CO_2-Bilanz an allen Standorten beim Gewerbebetrieb ergibt sich durch die große, verfügbare Dachfläche für den Einsatz von Photovoltaik (siehe Abbildung 143).

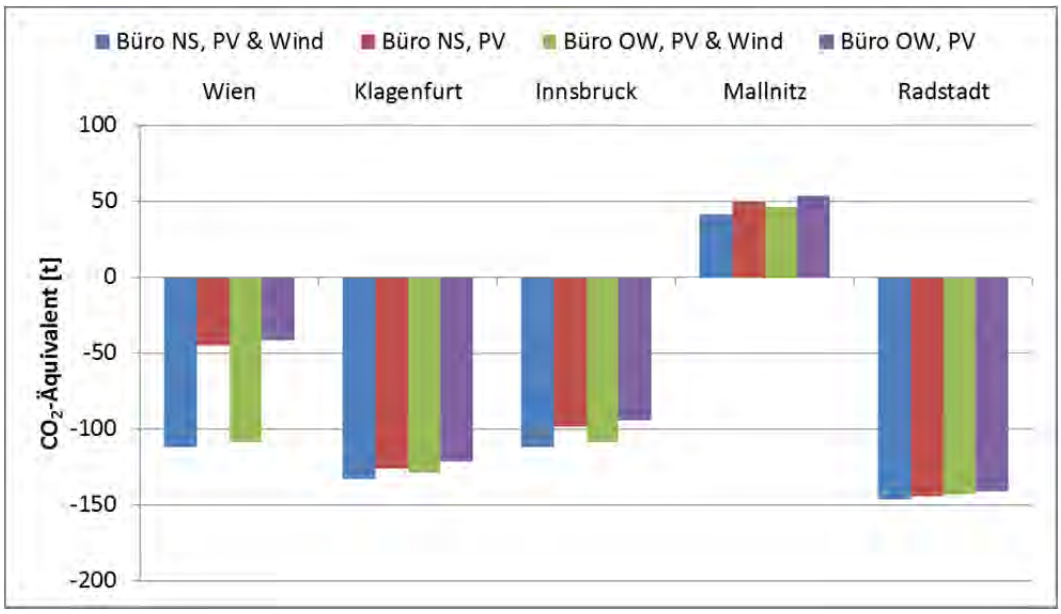


Abbildung 142: Die ökologisch günstigste Büro-Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

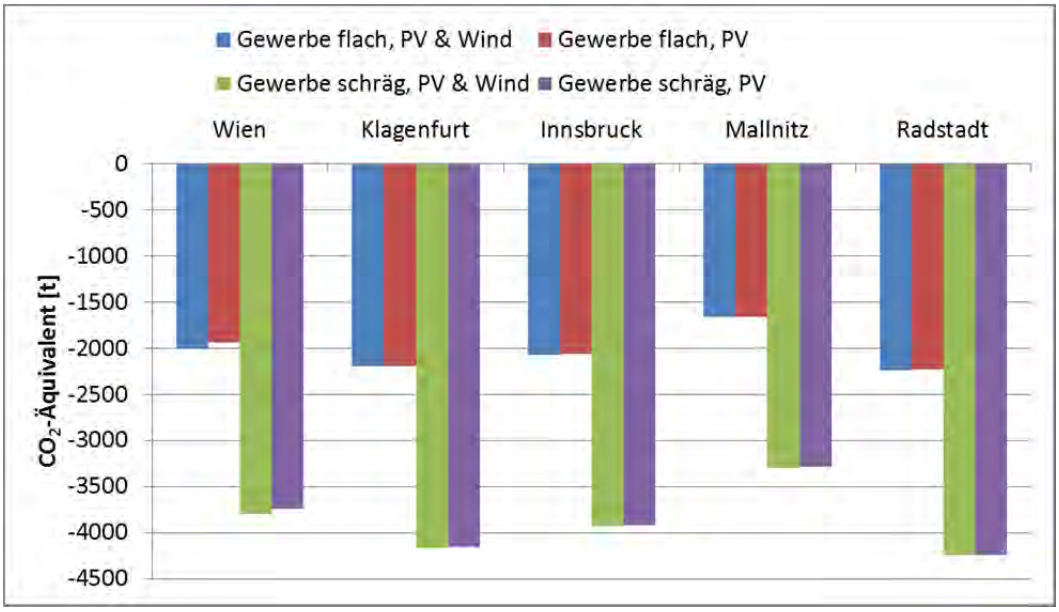


Abbildung 143: Die ökologisch günstigste Gewerbe-Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.5.3. Ökonomische Optimierung

Abbildung 144 zeigt die ökonomische Optimierung von Bürogebäude und Gewerbebetrieb am Standort Wien inklusive Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Gebäudes bis 2050. Den Ausgangspunkt bildet ein konventioneller Standardaufbau mit Fensterfläche klein (Kunststoffrahmen), Gaskessel und Standard-Elektrogeräten (1). Davon ausgehend erfolgen die schrittweisen Verbesserungen konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Gaskessel, Effiziente E-Geräte (2), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Sole/Waser-Wärmepumpe im Büro respektive Wasser/Wasser-Wärmepumpe in der Fabrikshalle, Effiziente E-Geräte (3), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Sole/Waser-Wärmepumpe im Büro respektive Wasser/Wasser-Wärmepumpe in der Fabrikshalle, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik (4), konventioneller Aufbau, Fensterfläche klein, Sole/Waser-Wärmepumpe im Büro respektive Wasser/Wasser-Wärmepumpe in der Fabrikshalle, Effiziente E-Geräte, Photovoltaik und Windkraft (5).

Tabelle 40: Variantenübersicht

Variante	Architektur	Aufbauten	Elektrogeräte	Heizsystem	Eigenstromversorgung
1	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Standard	Gaskessel	keine
2	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Gaskessel	keine
3	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Sole/Wasser-Wärmepumpe Büro Wasser/Wasser-Wärmepumpe Fabrikshalle	keine
4	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Sole/Wasser-Wärmepumpe Büro Wasser/Wasser-Wärmepumpe Fabrikshalle	Photovoltaik
5	Kleine Fensterflächen (Kunststoffrahmen)	Standard	Effizient	Sole/Wasser-Wärmepumpe Büro Wasser/Wasser-Wärmepumpe Fabrikshalle	Photovoltaik + Windkraft

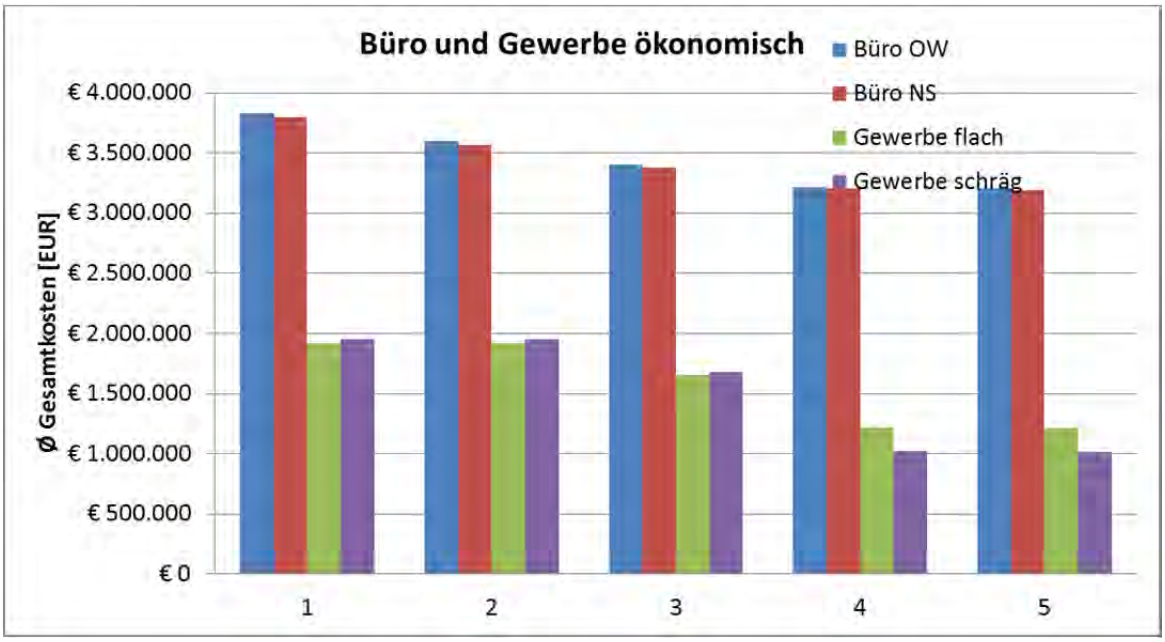


Abbildung 144: Die ökonomische Optimierung von Büro und Gewerbe am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Die Standortabhängigkeit bei den Kosten des Bürogebäudes zeigt Abbildung 145; nur am windbegünstigten Standort Wien ist der Einsatz einer Kleinwindkraftanlage wirtschaftlich vertretbar. Eine noch etwas günstigere Variante kann durch Integration von Photovoltaik-Modulen in die südorientierten Außenwände erzielt werden. Diese ist in Kapitel 7.6 beschrieben.

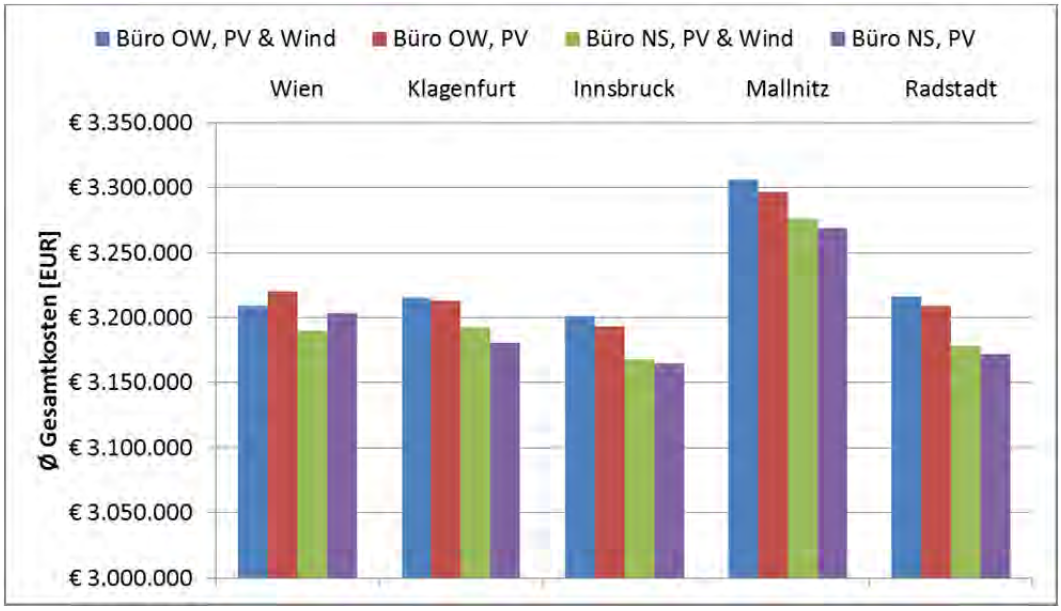


Abbildung 145: Die ökonomisch günstigste Büro-Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Interessant ist die Entwicklung der Kostenkategorien im Bürogebäude (siehe Abbildung 146). Durch die Umstellung des Heizsystems von einem Gaskessel zu einer Wärmepumpe können

die Betriebskosten deutlich gesenkt werden. Die Kategorie „Betriebskosten Wärme“ verschwindet fast gänzlich, da die Stromkosten für die Wärmepumpe den „Betriebskosten Strom“ zugeordnet sind.

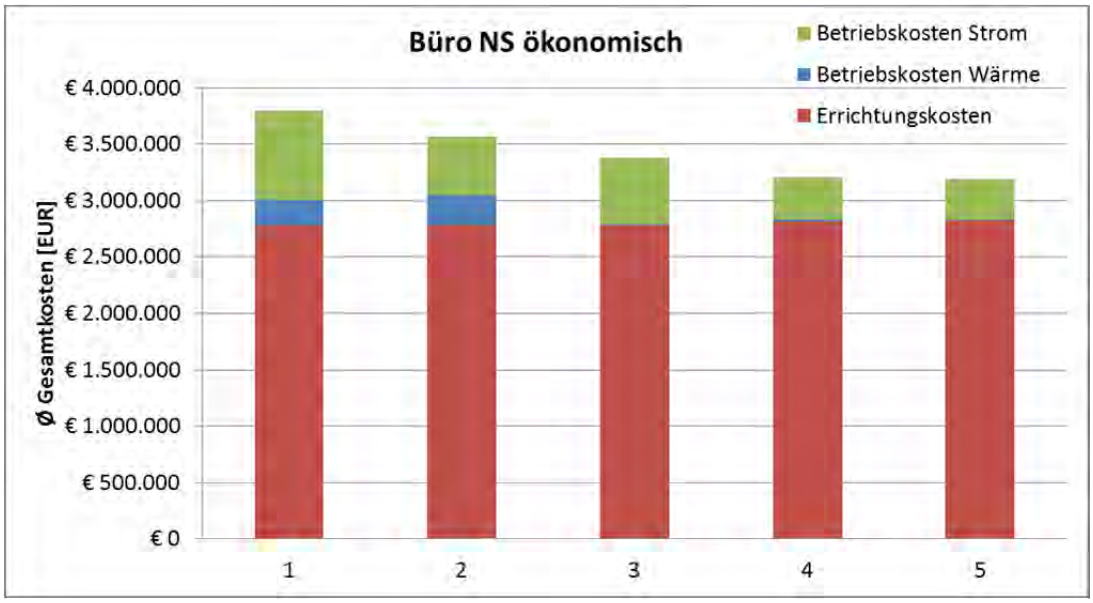


Abbildung 146: Kostengliederung des Bürogebäudes NS am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

Die ökonomisch günstigste Gewerbe-Variante zeigt Abbildung 147. Wie bei der energetischen und der ökologischen Optimierung schneidet die Variante mit Schrägdach an allen Standorten besser ab als die Flachdach-Halle durch die hohen, erzielbaren Photovoltaikerträge. Gleich zum Bürogebäude verringern sich die „Betriebskosten Wärme“ durch den Einsatz einer Wärmepumpe beinahe auf null, da die Stromkosten für die Wärmepumpe den „Betriebskosten Strom“ zugeordnet sind. Durch den Einsatz von Photovoltaik kann unter Ausnutzung der gesamten Dachfläche sogar eine negative Stromkostenbilanz – sprich ein Gewinn durch die Netzeinspeisung - erzielt werden, wie in Abbildung 148 ersichtlich ist.

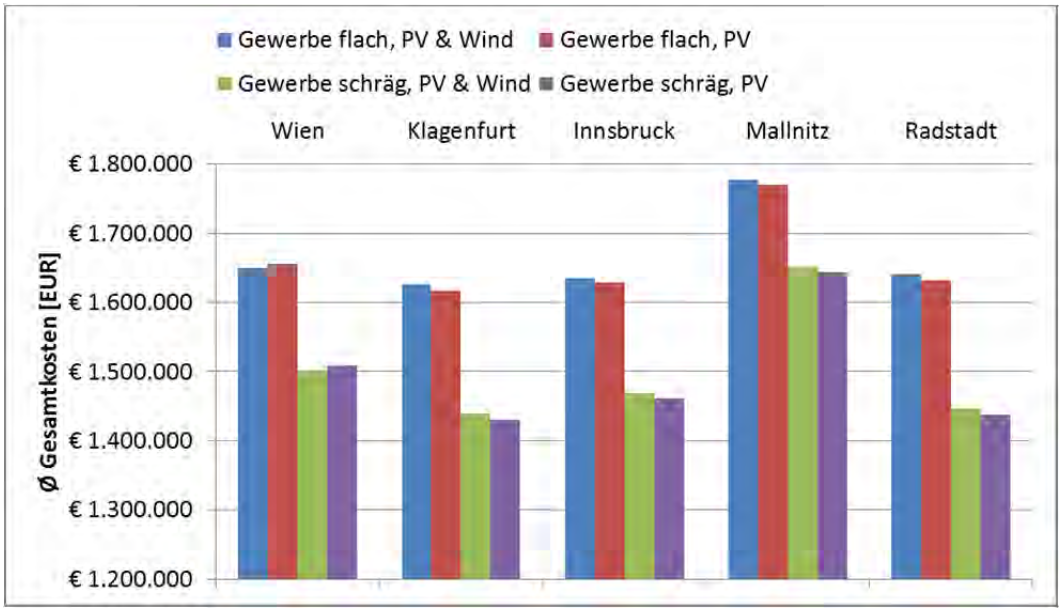


Abbildung 147: Die ökonomisch günstigste Gewerbe-Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

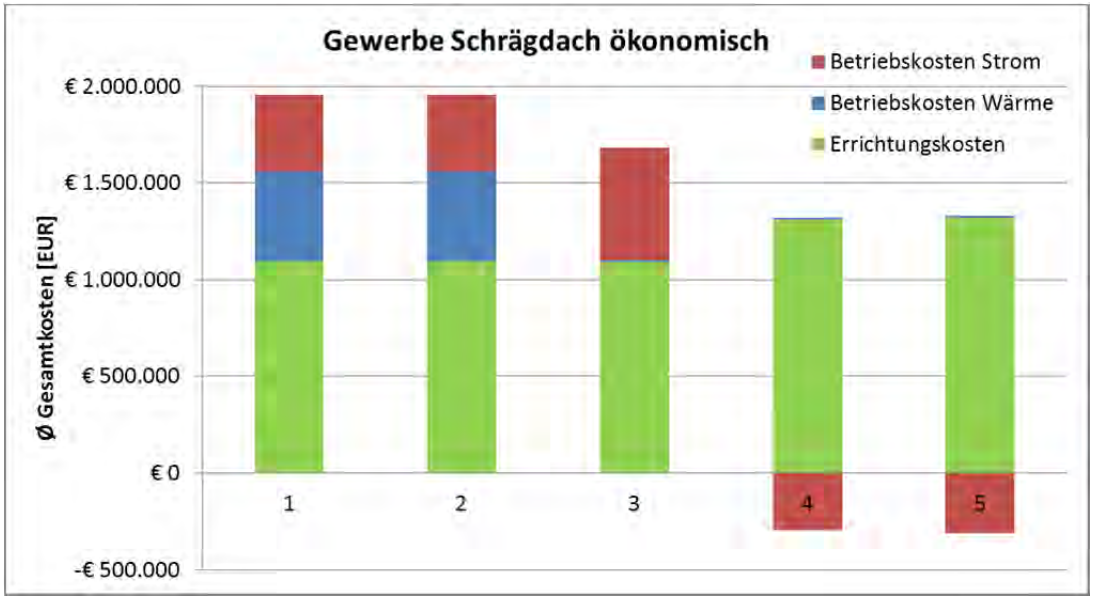


Abbildung 148: Kostengliederung des Gewerbebetriebs mit Schrägdach am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050)

7.6. Wesentliche Erkenntnisse

Plusenergiegebäude können über einen längeren Zeitraum betrachtet – in der gegenständlichen Arbeit bis 2050 – einen wesentlichen Beitrag zur Verringerung von CO_2-Emissionen und des nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauchs leisten und dabei unter gewissen Voraussetzungen auch kostengünstig sein. Hinsichtlich der CO_2-Emissionen ist es bei allen untersuchten Modellgebäuden möglich unter Berücksichtigung von Errichtung, Instandhaltung und Betrieb des Gebäudes bis 2050 eine negative CO_2-Bilanz – sprich CO_2-Einsparungen - durch Einspeisung von erneuerbarem Strom ins Netz zu erreichen. In Bezug auf den nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf ist ebenfalls eine negative, jährliche Betriebsbilanz, die nicht-erneuerbare Energieaufwendungen kompensiert, bei allen Gebäuden möglich.

Aus ökonomischer Sicht können durch den Einsatz des richtigen Heizsystems, einer energieeffizienten Elektrogeräte-Ausstattung und dem Einsatz von Photovoltaik Kostenreduktionen im Vergleich zu einer Basisausstattung der Gebäude erzielt werden. Ein wesentlicher Punkt der primärenergetischen und ökologischen Optimierung – der Einsatz von ökologischen Aufbauten – erscheint derzeit aber noch zu teuer. Daher ist zur weiteren Verbreitung von ökologischen Plusenergiegebäuden ein Augenmerk auf Kostenreduktionen unter anderem durch Forschung, Weiterentwicklung, Standardisierung und Vorfertigung im Bereich nachhaltiger Aufbauten zu legen.

Drei wesentliche Aspekte in der Gestaltung eines Plusenergiegebäudes, die sich zum Teil auch gegenseitig beeinflussen, sind der Standort, die Architektur und die Wahl des Heizsystems – sofern ein Heizwärmebedarf besteht. Die Kenntnis grundlegender klimatischer Daten des Gebäudestandorts erscheinen daher für eine qualitativ hochwertige Planung unumgänglich. Darauf hat das architektonische Konzept Rücksicht zu nehmen, insbesonders in Hinblick auf die Nutzung passiver solarer Erträge im Winter, der Sommertauglichkeit und der Bereitstellung verschattungsfreier Flächen zur Nutzung gebäudeintegrierter Photovoltaik. Bezüglich des Heizsystems kann keine eindeutige Empfehlung abgegeben werden. Je nach Nutzung des Gebäudes und benötigtem Temperaturniveau können unterschiedliche Heizsysteme vorteilhaft sein. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass unter Berücksichtigung aller Optimierungskriterien – Energie, Ökologie und Ökonomie – eine Wärmepumpe, ein Pelletkessel oder ein Fernwärmeanschluss die beste Lösung darstellen. Die häufige Nennung der Fernwärme als ökonomisch und energetisch beste Variante in den vorangegangen Kapitel beruht auf der Annahme eines idealtypischen Fernwärmewerkes unter Einsatz einer KWK-Anlage und einem hohen Anteil von Müll und Reststoffen. An geeigneten Standorten kann bei entsprechenden inneren und solaren Gewinnen sowie sehr hohen Dämmstandards der Einbau eines Heizsystems unter Umständen ganz entfallen. Die Volatilität der Sonnenstrahlung macht den Einsatz von Solarthermie in den untersuchten Gebäuden ohne entsprechende Energiespeicher wenig attraktiv, da der Heizwärmebedarf so gering ist, dass

in allen drei Optimierungsdimensionen ein monovalentes Heizsystem zum Einsatz kommt. Die Entwicklung von Energiespeichern und / oder der Wärmeeinspeisung in Fernwärmenetze werden daher hinsichtlich des zukünftigen Potentials der Solarthermie in Plusenergiegebäuden entscheidend sein.

Ein Kühlbedarf sollte in Wohngebäuden in Österreich durch planerische Maßnahmen gänzlich vermieden werden, was in den Modellgebäuden an den untersuchten Standorten realisiert werden konnte. Im Modell-Bürogebäude wird sich ein Kühlbedarf selbst unter Einsatz entsprechender Sonnenschutzeinrichtungen und energieeffizienten Geräten, die geringe innere Lasten mit sich bringen, nicht vollständig vermeiden lassen (vgl. Kapitel 6.1.4). Maßnahmen zur Deckung dieses Kühlbedarfs wurden in der gegenständlichen Arbeit nicht näher untersucht, es sind aber einfache Lösungen, wie z. B. Nachtlüftungssysteme und eine gemeinsame Planung mit dem Heizsystem anzustreben. Hier erscheint besonders die Kombination einer Photovoltaik-Anlage mit einer Wasser/Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpe als attraktive Lösung, falls Belüftungsmaßnahmen nicht ausreichend sind.

Verschattungsfreie Photovoltaik kann nach den energetischen, ökologischen und ökonomischen Optimierungszielen als elementarer Bestandteil eines Plusenergiegebäudes angesehen werden. Sollte sich die Photovoltaik hinsichtlich ihres Wirkungsgrades und der Preise wie in den vergangenen Jahren weiterentwickeln, wird sie in den nächsten Jahren mit großer Wahrscheinlichkeit eine weite Verbreitung im Gebäudesektor finden. Damit steigen aber auch die Anforderungen an das Verteilnetz großen Mengen an eingespeistem Photovoltaik-Strom gerecht zu werden. Kleinwindkraft kann zwar einen Beitrag zur Verbesserung der ökologischen und energetischen Bilanz der untersuchten Gebäude liefern, ist aber aus ökonomischer Sicht nur an optimalen Windstandorten geeignet. Daneben gilt es noch einige weitere Fragen, wie der Lebensdauer, der Auswirkungen auf die Gebäudestatik durch Schwingungen und der rechtlichen Rahmenbedingungen zu klären. Unter Bedachtnahme aller heute verfügbaren Informationen ist vom Einsatz der Kleinwindkraft abzuraten.

Zusammenfassend sind Plusenergiegebäude auch unter der Restriktion der Wirtschaftlichkeit möglich. Im Gegensatz zur primärenergetisch und ökologisch sinnvollsten Variante sind dabei natürlich Abstriche zu machen. So kann anders als bei der rein energetischen Optimierung nicht bei allen Gebäuden eine negative nicht-erneuerbare Primärenergiebilanz unter Berücksichtigung von Errichtung und Betrieb bis 2050 erzielt werden (vgl. Abbildung 149 und Abbildung 150). Betrachtet man hingegen die jährliche Bilanz entsprechend der gewählten Definition für Plusenergie, so ist es an allen untersuchten Standorten möglich unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit im Bereich der Wohngebäude als auch der Nicht-Wohngebäude Plusenergie-Standard zu realisieren (siehe Abbildung 151 und Abbildung 152). Beim Bürogebäude ist dazu aber zusätzlich zur Photovoltaik-Anlage am Dach eine fassadenintegrierte Anlage nötig.

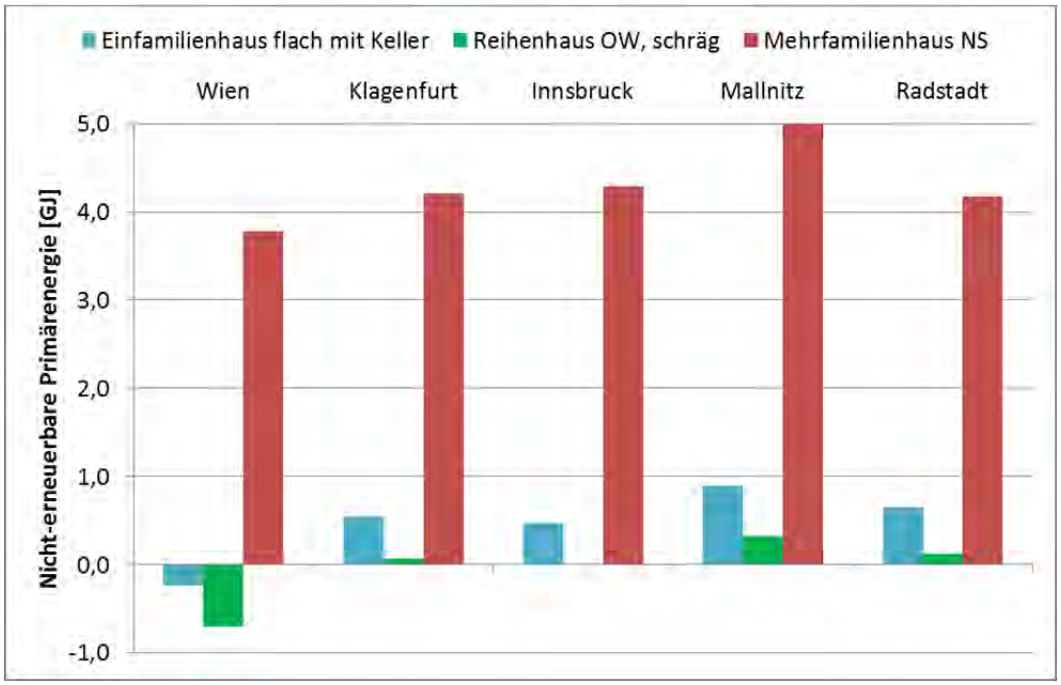


Abbildung 149: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante bei Wohngebäuden unter Berücksichtigung von Errichtung und Betrieb bis 2050 (Errichtung und Betrieb bis 2050)

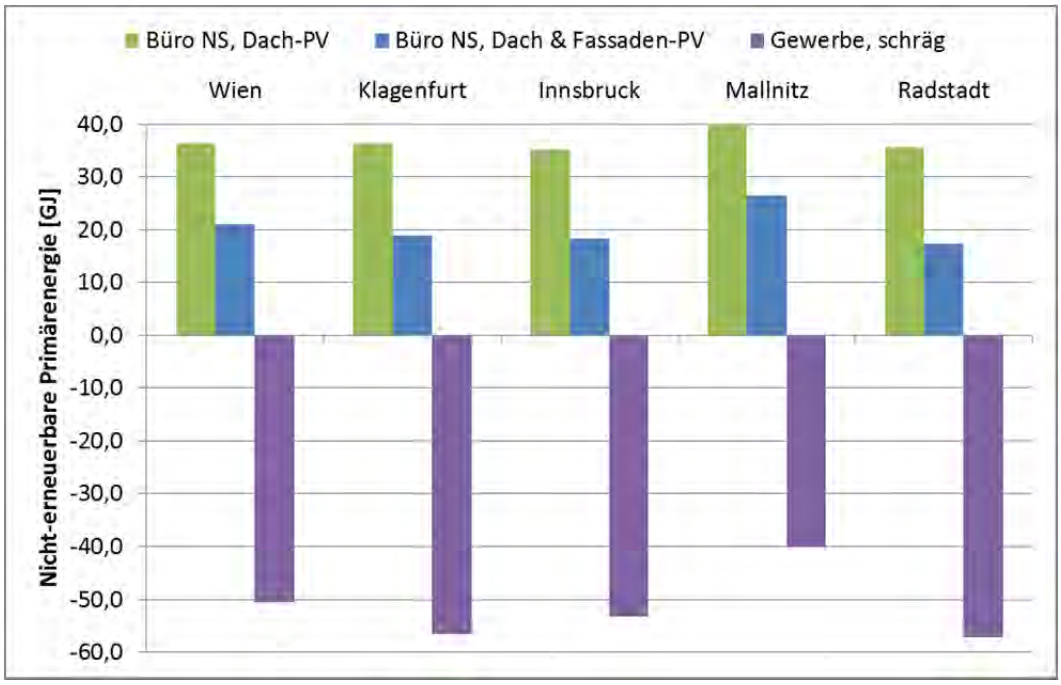


Abbildung 150: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante bei Nicht-Wohngebäuden unter Berücksichtigung von Errichtung und Betrieb bis 2050 (Errichtung und Betrieb bis 2050)

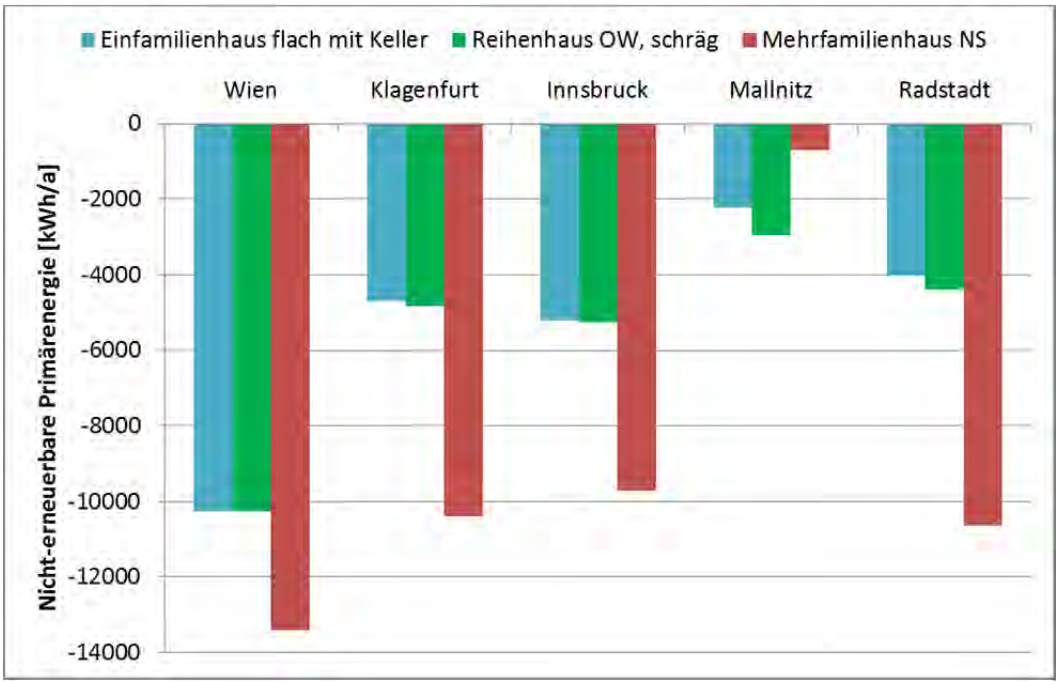


Abbildung 151: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante bei Wohngebäuden p. a.

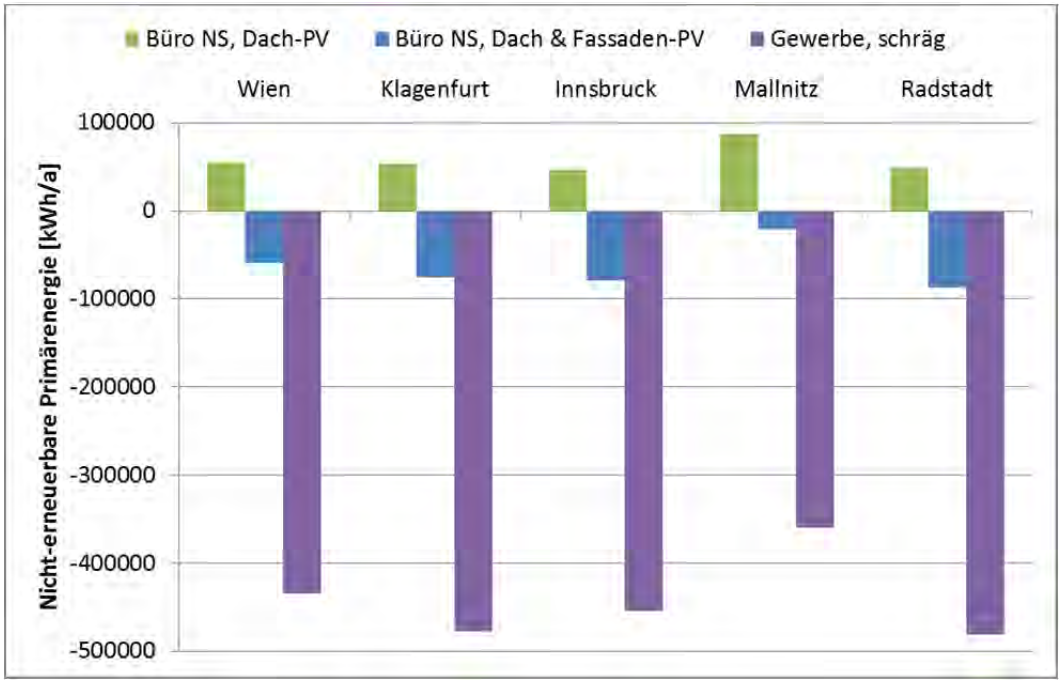


Abbildung 152: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante bei Nicht-Wohngebäuden p. a.

8. Schlussfolgerungen

Wirtschaftlich umsetzbare Plusenergiegebäude sind grundsätzlich auch unter Berücksichtigung der Ökologie durch den Einsatz erneuerbarer Energie zur teilweisen Deckung des Eigenenergiebedarfs schon heute möglich. Wesentliche Erkenntnisse zur Machbarkeit von Plusenergiegebäuden wurden in Kapitel 7.6 ausführlich geschildert. Neben den dort berücksichtigten lokalklimatischen, architektonischen, technischen, energetischen, ökologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen sind natürlich auch rechtliche und soziale Komponenten für Plusenergiegebäude entscheidend. Die Definition zur „Erreichung kostenoptimaler Niveaus“ gemäß Artikel 4.1 der EU-Richtlinie 2010/31/EU in Niedrigst-Energiegebäuden (Lebensdauer, Zinssätze, Preisentwicklungen) sowie die Ausbildung und Schulung von Fachpersonal sind nur zwei dieser Herausforderungen der nächsten Jahre.

Daneben ist natürlich der Nutzer entscheidend. Nur durch ein entsprechendes Nutzerverhalten wird es möglich sein, dass Plusenergiegebäude halten, was sie versprechen. Dafür sind zum Teil auch ein Umdenken und ein bewussterer Umgang mit Energie nötig. Letztlich können richtig genutzte Plusenergiegebäude neben Aspekten wie der Wirtschaftlichkeit und des geringen Energieverbrauchs auch mit einer Steigerung der Nutzerzufriedenheit überzeugen und damit seinen Bewohnern und Nutzern zum Vorteil dienen: Gebäude für Menschen.

Empfehlungen, die sich aus den Überlegungen der vorliegenden Arbeit ableiten lassen sowie ein Ausblick in die Zukunft von Plusenergiegebäuden hinsichtlich ihrer zukünftigen Relevanz im österreichischen Gebäudebestand finden sich in den nachfolgenden Unterkapiteln.

8.1. Empfehlungen

8.1.1. Empfehlungen für die Bauwirtschaft

Zusammenfassend lassen sich aus den Ergebnissen der durchgeführten Simulationsstudien folgende Planungsleitsätze für die Optimierung der architektonischen Rahmenbedingungen von Plusenergiegebäuden formulieren.

- Eine Berücksichtigung der lokalen klimatischen Gegebenheiten ist für die Optimierung der architektonischen Rahmenbedingungen von Plusenergiegebäuden unbedingt erforderlich.
- Durch Vergrößerung der südseitigen Glasflächen lassen sich die passiven solaren Gewinne steigern und der Heizwärmebedarf senken, zugleich steigt jedoch die Gefahr einer sommerlichen Überwärmung.
- Tendenziell nehmen die erzielbaren Energieeinsparungen durch Öffnung der Südfassade mit zunehmender Seehöhe des Gebäudestandortes zu.
- Zugleich nimmt das Risiko einer sommerlichen Überwärmung mit zunehmender Seehöhe des Gebäudestandortes tendenziell ab.
- Eine exakte Südorientierung der Südfassade ist sowohl für den Heizwärmebedarf, als auch für die sommerlich auftretenden Raumtemperaturen gegenüber einer Verschwenkung nach Osten oder Westen von Vorteil.
- Der zu erwartende Kühlbedarf und die maximal auftretenden Raumtemperaturen liegen in westlich orientierten Räumen in der Regel nur geringfügig höher, als in gleichen Räumen mit östlicher Orientierung. Betrachtet man das Tagesmaximum der Kühlleistung (bzw. die Kühllast), so fällt die Differenz zwischen östlicher und westlicher Orientierung wesentlich höher aus.
- Die verfügbare Speichermasse spielt vor allem bei großen südseitigen Glasflächen zur Erzielung von angenehmen Raumtemperaturen im Sommer eine wesentliche Rolle.
- In dichtverbauten stadträumlichen Situationen spielt die Straßenbreite bei ost-westorientierten Gebäudestandorten kaum eine Rolle. Bei nord-südorientierten Gebäuden hingegen wirkt sich der Gebäudeabstand über die Fassadenverschattung deutlich auf die erzielbaren passiven solaren Gewinne und damit auf den Heizwärmebedarf aus.
- Durch den Einsatz einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Lüftungswärmerückgewinnung kann der Heizwärmebedarf drastisch reduziert werden. Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage wirkt sich dabei stark auf die jeweilige erzielbare Energieeinsparung aus.

- Durch Anordnung von Lüftungsöffnungen in zwei oder mehr unterschiedlichen Fassadenebenen kann der nächtliche Luftwechsel erhöht und die auftretenden Maximaltemperaturen gesenkt werden.
- Dachgeschoßräume mit Schrägverglasungen in Ost-, Süd- oder Westorientierung sind in Bezug auf die Sommertauglichkeit grundsätzlich als kritisch zu sehen. Nur durch Erhöhen der speicherwirksamen Masse, das ermöglichen einer Quer- oder Diagonallüftung und die Ausführung der Schrägverglasung mit Sonnenschutzgläsern bzw. außenliegendem Sonnenschutz können hier angenehme sommerliche Temperaturen gesichert werden.
- Vollverglaste Fassaden schneiden im Bürobau in nördlicher, östlicher und westlicher Orientierung sowohl im Heizfall als auch im Kühlfall schlechter ab, als Fassaden mit geringerem Verglasungsanteil. Bei Orientierungen in südlicher Richtung zwischen etwa 105° und 255° können sich größere Verglasungsanteile positiv auf den Heizwärmebedarf auswirken, es ist jedoch fraglich, ob der gleichzeitig erhöhte Kühlbedarf in der Ganzjahresbilanz dadurch ausgeglichen werden kann.
- Das Heizsystem und ggf. ein Kühlsystem sollten unter Berücksichtigung der lokalklimatischen Gegebenheiten einer gemeinsamen Planung unterzogen werden. Daneben sollen nach Möglichkeit verschattungsfreie Flächen für Photovoltaik eingeplant werden.

8.1.2. Empfehlungen für politische Rahmenbedingungen

Gerade den politischen Rahmenbedingungen kommt in der Entwicklung und Markteinführung von neuen Technologien im Energiebereich eine große Bedeutung zu. Aufgrund sich wandelnder Rahmenbedingungen durch die Verknappung von Ressourcen gewinnen die Fragen der Effizienz, Suffizienz und Ökologie neben der ökonomischen Komponente immer mehr an Bedeutung. Auf EU-Ebene wurden in den letzten Jahren bereits zahlreiche gesetzliche Initiativen verabschiedet, die auf diese Entwicklung Bezug nehmen. In Anbetracht der Tatsache, dass Erdöl und Erdgas sich rasch ihrem globalen Fördermaximum nähern oder, - wie einige Experten behaupten - bereits überschritten haben, werden auch in Zukunft weitere Maßnahmen zur Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern nötig sein. Der Gebäudebereich ist heute für einen großen Teil des Energieverbrauchs verantwortlich und durch lange Lebensdauern von Gebäuden mit bis zu einhundert Jahren oder mehr, wird sich ohne rasche Maßnahmen in den kommenden Jahrzehnten nicht viel ändern. Darüber hinaus werden Gebäude nur in langen Intervallen von etwa dreißig bis vierzig Jahren größeren Sanierungsarbeiten unterzogen, womit bis 2050 beim heutigen Gebäudebestand von nur einer Renovierung auszugehen ist. Somit wird es speziell im Gebäudesektor darauf ankommen, einerseits den Energiebedarf zu senken und ihn andererseits durch lokal vorhandene, erneuerbare Energieressourcen – zumindest teilweise - nachhaltig zu decken.

Unter Bedachtnahme der oben genannten Punkte erscheinen folgende Maßnahmen zur Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern bei gleichzeitiger Energieeffizienzsteigerung erforderlich, die auf politischer Ebene wegen der langen Zeitkonstanten im Gebäudesektor rasch umgesetzt werden müssen. Im Rahmen einer umfassenden Energie- und Klimapolitik sollen hier Überlegungen wie Versorgungssicherheit, Ökonomie, Klimaschutz, öffentliche Akzeptanz und Betriebssicherheit im Vordergrund stehen (vgl. Koch, 2012):

- Eine rasche Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU auf ambitioniertem Niveau, um der Vorreiterrolle Österreichs im Gebäude-Know-How im Sinne der heimischen Wirtschaft auch weiterhin gerecht zu werden.
- Eine rasche Definition des kostenoptimalen Niveaus für Niedrigenergiegebäude, wie in der EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU gefordert, vgl. Verordnung zu kostenoptimalen Niveaus der EU-Gebäuderichtlinie EU Nr. 244/2012
- Laufende Anpassung von Minimum-Effizienz-Standards für Bauteile (z. B. U-Werte) um dem technologischen Forstschritt Rechnung zu tragen. Öffentliche Gebäude können dabei eine Vorbildfunktion erfüllen. Eine solche öffentliche Vorbildfunktion wird auch mehrfach von der EU gefordert, u. a. gemäß der EU Energieeffizienz-Richtlinie, 2009/28/EG, Art. 13 (5).
- Aufwertung des Energieausweises von Gebäuden durch Sanktionsmechanismen bei Zuwiderhandeln, wie dies in der Vorlage zum Energieausweisvorlagegesetz bereits angedacht ist. Daneben muss in der Bevölkerung auch Aufklärungsarbeit geleistet werden, da das Wissen über Energieausweise von Gebäuden noch sehr wenig verbreitet ist.
- Forcierung der Sanierungsrate von Gebäuden; dies ist unter anderem eine Forderung der EU-Kommission in ihrer Stellungnahme zur Energieeffizienz, die Sanierungsrate der öffentlichen Gebäude auf 3% p.a. zu steigern, vgl. Energieeffizienzplan 2011 KOM(2011) 109. Die öffentliche Hand kann hier mit einem positiven Beispiel voran gehen und öffentliche Gebäude durch ein Konjunkturprogramm verstärkt sanieren, wodurch auch verstärkt private Investitionen ausgelöst werden.
- Dänemark geht mit einem positiven Beispiel voran und untersagt den Einbau von Ölheizungen in neuen Gebäuden ab 2013. Bei Renovierungen gilt dieses Verbot ab 2016, falls ein Fernwärme- oder Erdgasanschluss verfügbar ist (siehe Koch, 2012 und Dänisches Ministerium für Klima, Energie und Gebäude, 2011). Damit geht Dänemark noch einen Schritt weiter als die Forderung der „Erneuerbaren Richtlinie“ 2009/28/EG, die den verpflichtenden Einsatz von erneuerbaren Energiequellen in Neubauten und bei größeren Renovierungsarbeiten ab 2015 vorschreibt (siehe Art. 13 (4)), und nimmt einen zentralen Punkt der EU Low-Carbon-Roadmap 2050, KOM(2011) 112, vorweg.
- Gesetzlich definierte Minimumeffizienzstands bei Haushaltsgeräten können in der Regel ohne Mehrkosten bei der Anschaffung enorme Energieeinsparungen im Betrieb hervorrufen. Eine periodische Evaluierung, in etwa alle drei bis fünf Jahre,

von solchen Minimumeffizienzstands und ihre kontinuierliche Verschärfung sind daher dringend empfehlenswert (vgl. van Sark et al, 2010 und Kapitel 6.5.2.2).

- Definition von verbindlichen äußeren Grenzen für Schatten werfende Objekte auf Nachbargrundstücke in lokalen Widmungsplänen (Schaffung von Planungs- und Rechtssicherheit, in Deutschland unter dem Titel „Recht auf Verschattungsfreiheit“ diskutiert).
- Schaffung geeigneter Modelle zur optimalen Aufteilung von Speicheraufgaben auf Endkunden und Netzbetreiber; Öffnung der vorhandenen thermischen und elektrischen Netze für dezentrale Netzeinspeisung.
- Forcierung der Aus- und Weiterbildung von unabhängigem Fachpersonal für nachhaltiges Bauen, wie es in zahlreichen EU-Dokumenten gefordert wird, vgl. u. a. 2009/28/EG, Art. 14. Diese Aus- und Weiterbildung sollte – ohne Anspruch auf Vollständigkeit - Gebäudeplaner und –techniker, Handwerker, Zivilingenieure, Immobilienmanager und –makler, Architekten sowie Energiefachleute umfassen.
- Innovative Finanzierungsinstrumente, wie Zinsvergünstigungen, wurden bereits in einigen EU-Mitgliedstaaten eingeführt, um Investitionen des Privatsektors in effiziente Gebäudelösungen anzuregen. Daneben sollen auch private Finanzierungsmodelle sowie Energie-Contracting-Modelle wissenschaftlich untersucht und ggf. politisch forciert werden; vgl. KOM(2011) 112, S. 9.
- Zusätzlich zur Energiepreisentwicklung bestimmten Steuern und Abgaben auf Brennstoffe über die Effizienz, mit denen diese eingesetzt werden. Eine entsprechende Besteuerung fossiler Energieträger bietet neben dem oben genannten Verbot von Ölkesseln einen wirkungsvollen Anreiz für Bauherren, Effizienztechnologien und erneuerbare Energiesysteme zu nutzen.
- Aufwertung der Energieeffizienzklassen von Haushaltsgeräten und Ausweitung auf weitere Haushaltsgeräte, um den Stromverbrauch im Haushalts- und Dienstleistungssektor zu senken
- Bereitstellung von entsprechenden Fördermitteln für Forschung und Entwicklung von Plus-Energie-Gebäuden, insbesondere für Grundlagenforschung zur ökonomischen, ökologischen und soziologischen Folgenabschätzung. Durch Grundlagenforschung kann neben der Ausbildung von hochqualifizierten Fachkräften auch ein langfristiger österreichischer Know-How-Vorsprung im Bereich innovativer Gebäudesysteme gesichert werden (vgl. Bointner et al, 2012).
- Im Falle schon bestehender thermischer Netze: Verdichtung der Fernwärme bis zur vollflächigen Erweiterung auf ganze Stadtgebiete in Verbindung mit thermischer Netzrückspeisung aus dezentralen (Ab-)wärmequellen. Bei einer Verstärkung der Strategie umfassender thermischen Sanierungen im städtischen Bereich könnte ein weitgehender Ersatz von fossiler Energie zur Deckung des Wärmebedarfs eher erreichbar sein.

8.1.3. Empfehlungen für Forschung und Entwicklung

Aus der gegenständlichen Arbeit lassen sich zahlreiche Empfehlungen für zukünftige Forschungs- und Entwicklungstätigkeit ableiten. Die Durchführbarkeit dieser Forschungsvorhaben ist unter den heutigen Rahmenbedingungen jedoch vorwiegend an die politische Bereitschaft entsprechende Forschungsgelder für Grundlagenforschung bereitzustellen geknüpft, wie dies bereits oben erwähnt wurde. Die Empfehlungen für Forschung und Entwicklung im Detail sind:

- Die konsequente Anwendung von Erkenntnissen zu Plusenergiegebäuden im Neubau sollte in den nächsten Jahren zur frühen Marktreife der Technologie führen. Weitere Grundlagenarbeiten sind aber zur Entwicklung von Plusenergie-Sanierungskonzepten notwendig, da im Gebäudebestand wesentlich mehr Einsparungspotential als im Neubau gegeben ist.
- Vorgefertigte Plusenergie-Gebäudekomponenten können zur Kosteneinsparung in Neubau und Sanierung beitragen und Bauzeiten verringern. Um eine möglichst große Bandbreite an Einsatzbereichen abzudecken, sollen diese Komponenten in standardisierter Weise einfach zu größeren Baugruppen zu vereinen sein, die vor Ort nur noch montiert werden müssen. In diesem Punkt ist vor allem anwendungsorientierte Forschung und das Gewinnen von Erfahrungswerten durch Demonstrationsgebäude gefragt. Falls man solche vorgefertigten Komponenten auch möglichst ökologisch gestalten möchte, so ist auch hier weitere Grundlagenforschung nötig
- Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprojekte zum Thema Plusenergiegebäude sind großteils auf die Errichtung und das fertig gestellte Gebäude konzentriert oder befassen sich mit der energetischen Bilanzierung über einen idealtypischen Zeitraum von meist einem Jahr. Eine ökologische und wirtschaftliche Gesamtoptimierung von Plusenergiegebäuden erfordert jedoch die Berücksichtigung aller Lebenszyklusphasen, wozu noch geeignete Methoden und Verfahren, ebenso wie entsprechende Kennwerte, entwickelt werden müssen.
- Bei allen Modellgebäuden ist aus heutiger, ökonomischer Sicht die konventionelle Bauweise günstiger als die konventionell-ökologische und die ökologische Variante der Aufbauten. Daher sind weitere Forschungsanstrengungen und Produktverbesserung nötig, die auf eine Kostenreduktion bei den ökologischen Aufbauten abzielen.

8.2. Zukünftige Bedeutung von Plus-Energie-Gebäuden

Plus-Energie-Gebäude werden in den nächsten Jahren und Jahrzehnten mehr und mehr Bedeutung gewinnen. Dies liegt an verschiedenen Gründen. Klimaschutzziele und die zunehmende Verknappung fossiler Energieressourcen führen in Verbindung mit steigenden Energiepreisen und Problemen in der Versorgungssicherheit zur Änderung der politischen Rahmenbedingungen. So soll ein „Niedrigst-Energie-Standard“ für öffentliche Gebäude ab 2019 und ab 2021 für alle Renovierungen und Neubauten etabliert werden. Bis 2050 sollen entsprechend der EU-Low-Carbon-Roadmap 2050 die Treibhausgasemissionen im Sektor Wohnen und Dienstleistungen um etwa 90% im Vergleich zum Basisjahr 1990 zurückgehen. Die Komponenten, die für Plus-Energie-Gebäude nötig sind, sind heute bereits großteils verfügbar und einsatzbereit. Wichtig ist jedoch mehr Know-How im Zusammenspiel dieser Komponenten zu gewinnen. Dafür ist neben der großflächigen Anwendung erprobter Maßnahmen auch die Umsetzung von innovativen Demonstrationsobjekten erforderlich. Einige dieser Vorreiter wurden in Kapitel 5.2 erwähnt. Auch die Technische Universität Wien geht hier mit einem positiven Beispiel voran und wird in Zusammenarbeit mit dem Gebäudeeigentümer der Bundesimmobiliengesellschaft, das sogenannte Chemiehochhaus am Wiener Getreidemarkt zu einem Plus-Energie-Büro sanieren (Heizwärmebedarf: 3,4 kWh/m²a, Kühlbedarf: 2,5 kWh/m²a, Beleuchtungsenergiebedarf: 5,6 kWh/m²a, nicht erneuerbarer Netto-Primärenergiebedarf: < 0 kWh/m²a durch Einsatz einer PV-Anlage).

Abbildung 153: Chemiehochhaus der Technischen Universität Wien; links vor der Sanierung und rechts ein Rendering der Sanierung zum Plusenergiebüro mit fassadenitegrierter PV-Anlage; Quelle: TU-Wien (links), Architekten Hiesmayr-Gallister-Kratochwil (rechts)

Damit ist bereits der sensibelste Bereich der zukünftigen Relevanz von Plus-Energie-Gebäuden angesprochen. Die Neubaurate in Österreich liegt nur bei 1–1,5% p. a., womit im Jahr 2050 nur etwa 16% der Wohngebäude und 27% der Nicht-Wohngebäude in Österreich jünger als dreißig Jahre sein und den neuesten Gebäudestandards entsprechen werden (vgl. Müller et al, 2010). Damit liegt, bei ungleich größeren Herausforderungen für die Planung und die Technologie, das wesentlich größere Potential für Plusenergie im Gebäudebestand. Es wird in Zukunft also vor allem auf Lösungen zur Erreichung des Plus-Energie-Standards im Gebäudebestand ankommen. Deutlich wird dies auch in Abbildung 154. Es wird noch einige Jahrzehnte dauern, bis sich Plusenergiegebäude auf den Gesamtgebäudebestand in Österreich signifikant auswirken werden. Je nach Diffusionsrate – in den Szenarien einer geringen, mittleren und hohen Technologiediffusion - werden Plusenergiegebäude einen Anteil von 5% – 21% am österreichischen Gebäudebestand im Jahr 2050 erreichen. Die geringe Diffusionsrate entspricht in etwa einer Entwicklung ohne begünstigende Einflüsse, bei der hohen Diffusionsrate wird von einem positiven Marktumfeld für Plusenergiegebäude ausgegangen. Als Diffusionstreiber hin zu einer hohen Verbreitung von Plusenergiegebäuden können in erster Linie Kosteneinsparungen der neuen Technologie (z. B. durch hohe Energiepreise), Förderungen und ordnungspolitische Maßnahmen (z. B. eine ambitionierte Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU) gesehen werden.

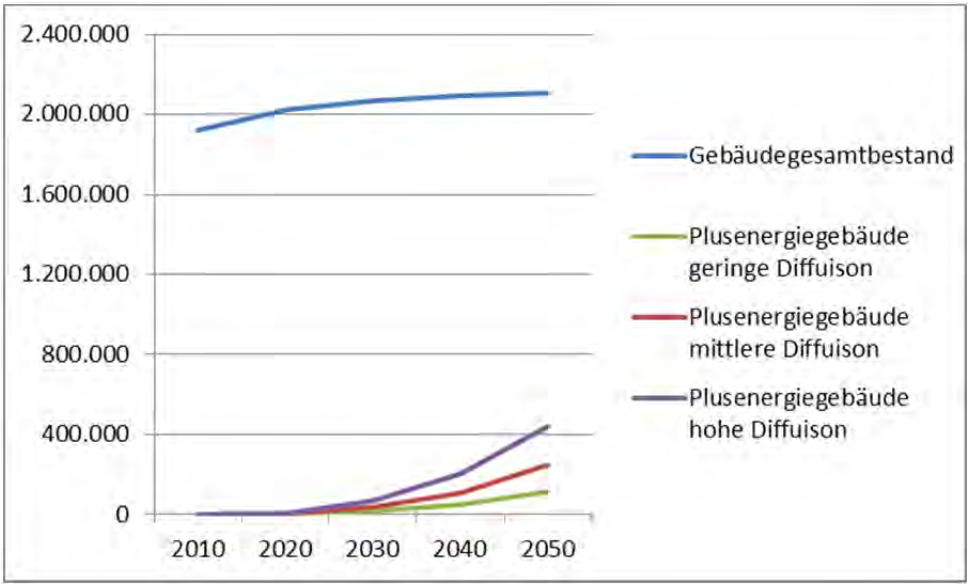


Abbildung 154: Szenarien der Anzahl von Plusenergiegebäuden am österreichischen Gebäudebestand

Wenngleich die Anzahl von Plusenergiegebäuden auf den ersten Blick in Abbildung 154 gering erscheinen mag, so wird in Abbildung 155 und Abbildung 156 deutlich, dass von einigen hunderttausend Gebäuden bis 2050 die Rede ist. Je nach Diffusionsszenario werden im Jahr 2050 ca. 100.000 bis 400.000 Wohngebäude bei einer Gesamtzahl von 1,85 Mio. Wohngebäuden durch Neubau und Sanierung Plusenergie-Standard erreichen, wobei der Sanierung zur Erreichung dieser Anzahl an Gebäuden ein genau so großes Gewicht wie dem Neubau zugemessen werden muss. Gleiches gilt für den Bereich der Nicht-Wohngebäude, in dem 8.000 bis 50.000 Plusenergiegebäude bis 2050 erwartet werden

können. Bei einer Gesamtzahl von etwa 2,1 Mio. Gebäuden in Österreich im Jahr 2050 (vgl. Müller et al, 2010) kann also bis zu einem Fünftel Plus-Energie-Standard erreichen.

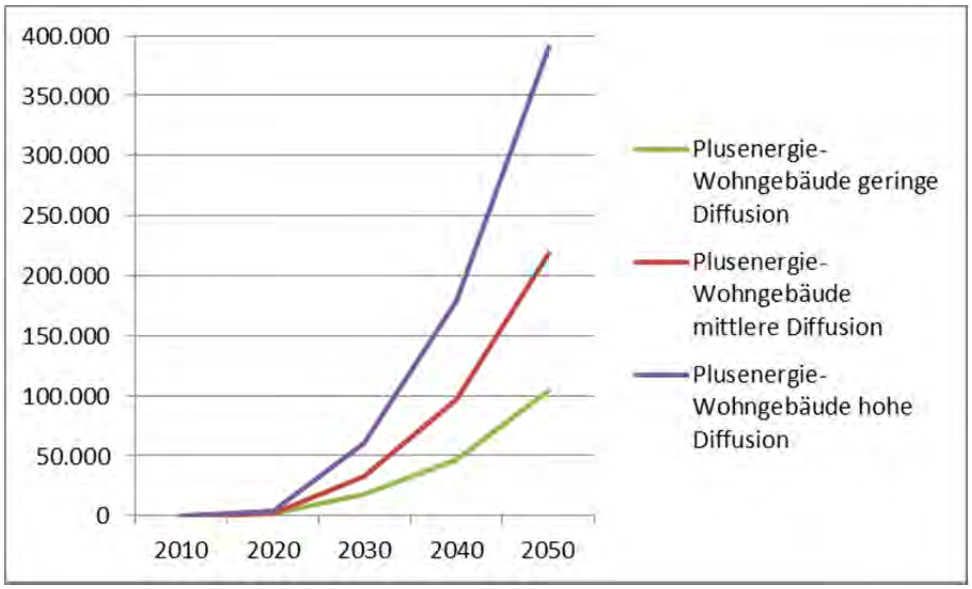


Abbildung 155: Szenarien der Anzahl von Plusenergie-Wohngebäuden in Österreich

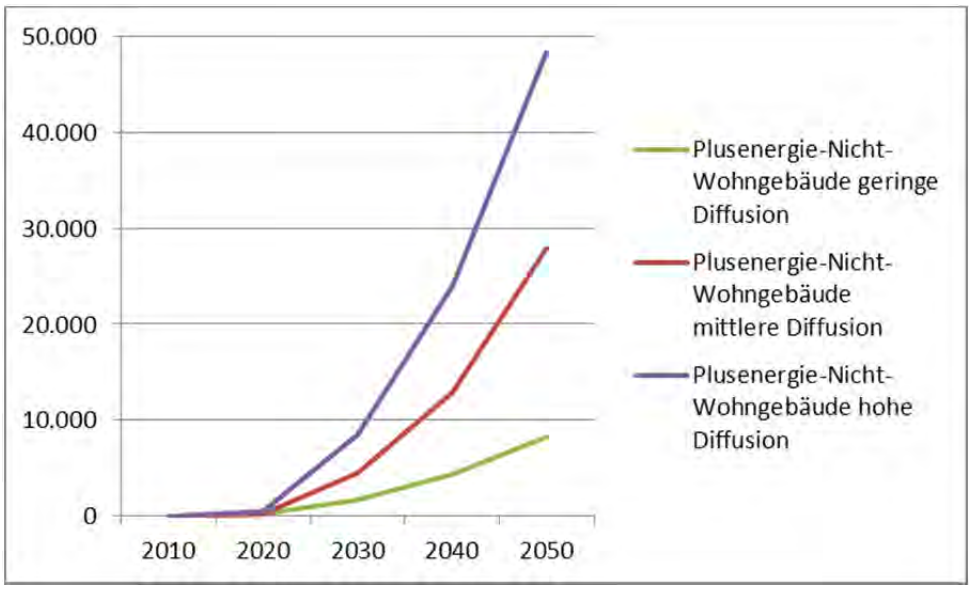


Abbildung 156: Szenarien der Anzahl von Plusenergie-Nicht-Wohngebäuden in Österreich

Für das Erreichen eines Plus-Energie-Gebäudestandards lässt sich im Allgemeinen aus technischer Sicht folgende Reihenfolge definieren, wobei der Zielerreichungsgrad in hohem Maße vom Gebäudestandort, der zu Beginn gründlich untersucht werden muss, sowie der fachlich einwandfreien Bauausführung vor Ort abhängig ist:

1. **Niedrigstenergiegebäude**
   Energieeffizienz aller Gebäudebauteile ist in der Regel die Grundvoraussetzung (z. B. Gebäudehülle analog Passivhausstandard)
1. **Nutzung passiver Wärmequellen**
   Durch intelligente Planung des Gebäudes sollen passive Wärmequellen wie solare Einstrahlung, Abwärme von Geräten und die Körperwärme von Menschen (und allenfalls Tieren) bestmöglich genutzt werden.
2. **Effiziente Geräteausstattung**
   Eine energieeffiziente Geräteausstattung erhöht durch eine Verringerung der Abwärme zwar den Heizenergiebedarf, senkt gleichzeitig jedoch den Strombedarf des Gebäudes, wodurch man dem Ziel Plus-Energie-Gebäude wiederum einen Schritt näher kommt.
3. **Nutzung erneuerbarer Energiequellen vor Ort**
   Der thermische und elektrische Energiebedarf des Gebäudes sollte primär durch lokal verfügbare, erneuerbare Energiequellen gedeckt werden. Ein Stromüberschuss sollte nach Möglichkeit ins Netz eingespeist werden; gleiches gilt in Abhängigkeit vom Heizsystem für Wärme, sofern ein Wärmenetz vorhanden und die Einspeisung technisch möglich ist.
4. **Lieferung von erneuerbarer Energie**
   In Zeiten, in denen der thermische und / oder elektrische Energiebedarf des Gebäudes nicht durch die Energiequellen vor Ort gedeckt werden kann, sollte elektrische Energie über Stromnetze und thermische Energie abhängig vom Heizsystem durch Fern-, Umgebungswärme oder in Form von Biomasse bezogen werden.
5. **Nutzerverhalten**
   Entscheidend neben der Planung und der qualitativ hochwertigen Ausführung ist im Betrieb der Nutzer. Es ist auch bei den Bewohnern und Nutzern von Gebäuden ein Umdenken im Umgang mit einem Plusenergiegebäude notwendig. Schulungsmaßnahmen und Ausklärungsarbeit können hier einen entscheidenden Beitrag zur Nutzerakzeptanz und –zufriedenheit leisten.

9. Literaturverzeichnis

AEE, 2002: „High Energy Density Sorption Heat Storage for Solar Space Heating“, Ergebnisse zu den Versuchen mit der „HYDES“-Testanlage in Gleisdorf, AEE, Gleisdorf, 2002

AEE, 2010: „Empfehlungen für Kleinwindkraftanlagen (KWKA)“, Information der AEE NÖ-Wien, Download: www.igwindkraft.at 20100615 18:06

Aichinger Georg: „Erstellung einer Datenbank zur Berechnung der ‚Grauen Energie‘“, Projektarbeit, Betreuer: Wertz Dietrich, Institut für Energietechnik und Thermodynamik, TU Wien, Eikemeier Sören, Gruppe für Angepasste Technologie, TU Wien, Wien, 2011

Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern: BKI-Baukosten Schriftreihe - Stuttgart : BKI, 2010

Behrendt Siegfried et al.: „Roadmap: Ressourceneffiziente Photovoltaik 2020+“, Arbeitspaket 9 des Projekts ‚Materialeffizienz und Ressourcenschonung‘, Wuppertal, 2010 http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRess_AP9_1.pdf (Abgerufen 24.10.2011, 18:57)

Bergmann, I., Weiß, W.: "Fassadenintegration von thermischen Sonnenkollektoren ohne Hinterlüftung“, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien, 2002

Biermayr, P. et al., 2010: "Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2009", Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien, 2010

Biermayr, P. et al., 2012: "Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2011", Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien, 2012

BINE Informationsdienst: „Recycling von Photovoltaik-Modulen“, Forschungsbericht des BMWi, Bonn, Download: www.bine.info (Abgerufen am 1.8.2011, 14:30)

Bleiberschnig Daniel: „Kostenfunktionen Erneuerbare-Energie-Technologien“, Bachelorarbeit, Betreuer: Werner Andreas, Wertz Dietrich, TU Wien, Wien, 2010

BMLFUW, BMWFJ, 2009: „Basispapier für die Arbeitsgruppen zur Erarbeitung einer Energiestrategie Österreich“

BMLFUW, 2011: „Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011“, Umweltbericht im Rahmen der strategischen Umweltprüfung gem. RL2001/42/EG, 2011

BMVIT 2008: Haus der Zukunft Plus - 1. Ausschreibung 2008 - Leitfaden für Projekteinreichung. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Wien 2008.

BMVIT 2009: Haus der Zukunft Plus - 2. Ausschreibung 2009 - Leitfaden für Projekteinreichung. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Wien 2009.

Bointner, R., Bayr, M., Biermayr, P., Friedl, C., Köppl, A., Kranzl, L., Mauthner, F., Tichler, R., Weiss, W. 2012: „Wachstums- und Exportpotentiale Erneuerbarer Energiesysteme“, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Jänner 2012.

Bothe, D. K.: „BA Thermool in der Solarthermie“, Bachelorarbeit, TU Wien, IET, Wien, 2011

Bothe, W., 2007: „Die umwelt- und gesundheitsbezogene Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen in Bauprodukten in Zusammenhang mit dem IQUH-IBM“, Diplomarbeit, Hannover 2007

BWE 2011: „Kleinwindanlagen – Handbuch der Technik, Genehmigung und Wirtschaftlichkeit kleiner Windräder“, Marktübersicht des Bundesverbands Windenergie e. V, 1. Auflage, Berlin, 2011

Clarke J. R., 2001: “Energy Simulation in Building Design”, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, Auckland, Boston, Johannesburg, Melbourne, New Delhi: 2001.

COMIS, 2003: COMIS Multizone Airflow Model, Conjunction Of Multizone Infiltration Specialists, http://epb.lbl.gov/comis/, Aktualisierungsdatum: 2.2.2012.

Dachverband Energie-Klima, 2006: "Erneuerbare Energie - Technologische Kompetenz aus Österreich", Wien, 2006

Dänisches Ministerium für Klima, Energie und Gebäude, 2011: „Energy Strategy 2050 – from coal, oil and gas to green energy“, ISBN 978-87-92727-14-5, Kopenhagen, Februar 2011; verfügbar unter www.kemin.dk/Documents/Klima-%20og%20Energipolitik/Energy%20Strategy%202050%20web.pdf, abgerufen 27.05.2012

Deponieverordnung, 2010: „Deponieverordnung idF BGBl. II Nr. 178/2010“, Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft , 2010

Deutsch, M.: „BA Modellierung eines Wärmeschichtspeichers“, Bachelorarbeit, TU Wien IET, Wien, 2011

Diem Patrick: „Modellierung einer Kompressionskältemaschine in Excel/VBA“, Bachelorarbeit, Betreuer: Bednar Thomas, Wertz Dietrich et al., TU Wien, Wien, 2012

DIN 276-1, Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau, Deutschland 2008
Dombayci, Ö. A. et al.: “Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources”, Applied Energy 83 (2006), p. 921-928, 2006.

Dzevad, S.; Slaven, I. „Überblick über Simulationstools für Solarthermie/ Photovoltaik am Markt“, Projektarbeit, Wien : TU Wien IET, Wien, 2011

Edenhofer Ottmar et al.. Das grüne Paradoxon - Menetekel oder Prognose" in: Beckenbach u.a. (Hrsg.) ‚Jahrbuch Ökologische Ökonomik, Band 6: Diskurs Klimapolitik‘ S. 115-151. Metropolis, Marburg, 2009

Eicker Ursula: „Low Energy Cooling for Sustainable Buildings“, John Wiley & Sons, 2009

Eicker Ursula: „Solare Technologien für Gebäude: Grundlagen und Praxisbeispiele“, Vieweg+Teubner Verlag; Auflage: 2., vollst. überarb. und aktual. Aufl., Wiesbaden, 2012

Einfalt Alfred et al.: Konzeptentwicklung für ADRES - Autonome Dezentrale Erneuerbare Energie Systeme, FFG-Forschungsprojekt, Energie der Zukunft, 1. AS, Projektnummer: 815674, Endbericht, Wien 2011

Energie-Control Austria: Statistikbroschüre 2011, Wien, 2011

EU Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union L 114/64.

EU Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. Amtsblatt der Europäischen Union L 140/136.

EU Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union L 153/13.

EU SET-Plan: „What ist the SET-Plan?“, Information der Europäischen Kommission / Strategic Energy and Technologies Information System, Download: http://setis.ec.europa.eu/about-setis/what-is-the-set-plan (Abgerufen: 21.6.2011, 21:13)

EU Verordnung Nr. 244/2012 DER KOMMISSION vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten. Amtsblatt der Europäischen Union L 81/18.

EU Energieeffizienzplan 2011, KOM(2011) 109.

EU Low-Carbon-Roadmap 2050, KOM(2011) 112.

Everding D. (Hrsg): Solarer Städtebau. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart 2007

Eyerer, P. et al., 2000: „Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden – Wege zur ganzheitlichen Bilanzierung, Baupraxis, Birkhäuser Verlag, 2000

FA19D, 2012: „Thermische Abfallbehandlung“, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abfallwirtschaft und Stoffflusswirtschaft; http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10008941/4336040/; letzter Zugriff am 11.05.2012

Fanger, P. O., 1970: “Thermal Comfort. Analysis and applications in environmental engineering”, McGraw Hill, New York

Gantenbein, Paul, et al.: Solarthermisches Kühlen – Konzeptvergleich und Systemoptimierung für ein Testsystem mit Absorbtionskältemaschine“, Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, 2010

Garstenauer, S. „Luft- Wasser- Wärmepumpe“, TU Wien, IET, Wien, 2010

Gertis, K., Hauser, G.: „Instationäre Berechnungsverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz im Hochbau.“ Verlag Ernst & Sohn, Berlin, Berichte aus der Bauforschung, Heft 103, 1976

Ghaemi, Sara et. al, 2011: ”ADRES Concept”, Final report, Energie der Zukunft, Klima und Energiefonds, FFG

Ghaemi, Sara, 2011: “Efficiency potential in private sector in ADRES”, PhD thesis, Technical University of Vienna, May 2011

Glück Bernd: „Erdwärmekollektor Simulationsmodell ‚Erdwärmekollektor‘ zur wärmetechnischen Beurteilung von Wärmequellen, Wärmesenken und Wärme-

/Kältespeichern“, Veröffentlicht bei der Rud. Otto Meyer-Umweltstiftung, 2009, Download: http://berndglueck.de/veroeffentlichungen.php (Abgerufen: 17.1.2010, 18:59)

Goretzki P.: Energieeffiziente Bauleitplanung – Grundlagen, Planungsleitfaden, Sicherung energieeffizienter Bauleitplanung. Gutachten im Auftrag des Stadtplanungsamt Erfurt. Solarbüro Goretzki (Hrsg.). Stuttgart 2007

Greisberger, H. et al.: „Wege zur Strom- und Wärmeaufbringung ohne fossile Energieträger bis 2020 bzw. 2030“, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, Wien, 2008

Greisberger, H.: „Geförderte Projekte – Solarthermie“ Zusammenstellung ausgewählter Projekte“, Thematisch gegliederte Übersicht geförderter Projekte der Ausschreibungen “Energie der Zukunft“ und „Neue Energien 2020“, ÖGUT, Wien

Haas, R. et al.: "Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Marktchancen verschiedener Technologielinien im Energiebereich", Bericht zu einem Projekt aus der Programmlinie "Energie der Zukunft", Proj.Nr. 810707, Wien, 2008

Häberlin, H.: „Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen“, AZVerlag, Aarau, 2007

Hafner, B., 1999: „Modellierung und Optimierung eines solar betriebenen Prozesswärmesystems“, Dissertation RWTH Aachen, Verlag Shaker, Aachen 1999

HTT, 2011: Info-Folder, Firmenhomepage HTT energy systems GmbH,, Download am 02.05.2011, Herford 2011

Heindl W. Kreč Klaus, 1985: „Interpolation und Kontinuisierung“, Forschungsbericht im Auftrag des BMWF, Wien 1985

Heindl W., T. Kornicki, A. Sigmund, 1990: „Erstellung halbsynthetischer Klimadatensätze für meteorologische Messstationen“, Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (GZ. 70.630/18-25/88) und des Amtes der NÖ - Landesregierung (Zl. NC 23-1988/1989), Wien 1990

Hens Hugo, 2007: “Building Physics – Heat, Air and Moisture. Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises”, Ernst & Sohn, A Wiley Company, Berlin: 2007.

Huber Arthur et al: „Auslegung von Luft-Erdregister“, Benutzerhandbuch zum Programm WKM, Huber Energietechnik, Zürich, 2003

Huber-Fauland, H. et al.: „Simulatonsvergleich von Pelletskesselmodellen“, Konferenzbeitrag zur BauSIM, 22.-24.9.2010, TU Wien, Wien, 2010

IBO, 2009: Endbericht „Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen“, Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH, Wien 2009

IBO, 2011: „OI3-INDIKATOR – Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude“, Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien 2011

IBO: Passivhaus Bauteilkatalog – ökologisch bewertete Konstruktionen. Onlineversion. IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Verein) und IBO GmbH. (Gefunden unter: https://www.baubook.at/phbtk/ , abgerufen 10.06.2011, 17:15)

IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH: „IBOLeitfaden für die Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude“, IBO, Wien, 2010 http://www.energiebewusst.at/fileadmin/02-Energieausweis/OI3/OI3-LeitfadenV21.pdf (Abgerufen 25.10.2011, 13:26)

International Energy Agency (IEA), Annex 53, 2011: Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods, www.ecbcsa53.org

Jachan Christian, 2003: „Hygienischer Tauglichkeitsnachweis und Optimierung der bauphysikalischen Performance von Gebäuden in Passivhausbauweise“, Dissertation, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Abteilung Bauphysik, Fakultät für Bauingenieurwesen, Technische Universität Wien: 2003.

Jakob, U.: "Entwicklung eines Systemreglers für standardisierte Solar Cooling Kits", erneuerbare energie, AEE Intec, Gleisdorf, 2009

Jähning, Dagmar et al.: „Monitoring Results - A technical report of subtask A“, SHC, Task 38 Solar Air –Conditioning, Gleisdorf, 2011

Jenseit Wolfgang et al.: „Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) im Baubereich“, Arbeitspapier im Rahmen des UBA-F&E-Vorhabens Nr. 104 01 123, Institut für angewandte Ökologie e.V., Darmstadt/Karlsruhe/Weimar, 1999

Jung Michael, 2007: Untersuchung des Einflusses der Feuchtepufferung und des Lüftungsverhaltens auf das Raumklima in Wohnungen durch numerische Simulation, Technische Universität Wien: 2007

Kaltschmitt, Martin et al.: „Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte“, Vierte, aktualisierte, korrigierte und ergänzte Auflage, Springer, Berlin, 2006

Kaltschmitt Martin, Streicher Wolfgang (Hrsg.): Regenerative Energien in Österreich - Grundlagen, Systemtechnik, Umweltaspekte, Kostenanalysen, Potenziale, Nutzung. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009.

Kerskes, H., Drück, H., 2012: „Thermische Energiespeicher im Gebäude - Ein Überblick über neue Technologien“, in: erneuerbare energie, 01/2012, AEE Intec, Gleisdorf, 2012

Kirchweger, Ch.: "Kleinwindkraft in der Praxis", Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, 2009, erschienen im Grin-Verlag 2010, ISBN: 978-3640515059

Kobos, P. H. et al: „Technological learning and renewable energy costs: implications for US renewable energy policy“, Energy Policy Volume 34, Issue 13, S. 1645–1658, September 2006

Koch, Hans Jørgen, 2012: “Towards independence from fossil fuels“, Vortragspräsentation; verfügbar unter www.erneuerbare-energie.at/vortrge/koch.pdf, abgerufen 27.05.2012

Konersman, Lars et al.: „Pelletsolar – Leistungsanalyse und Optimierung eines Pellet-Solarkombinierten Systems für Heizung und Warmwasser“, SPF Institut für Solartechnik, Rapperswil, 2007

Kranzl, L. et al.: "Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotenziale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen", Projektbericht, Wien, 2008

Krawinkler, R.: „Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke", Diplomarbeit, Betreuer: Werner, A., TU Wien, 2006

Kreč Klaus, 2010: OEKLIM, V2.1, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken für Standorte in Österreich, © K. Kreč 2010

Kreč Klaus, 2010: UPTEMP, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken aus Tagesmittelwerten meteorologischer Messstationen; Forschungsprojekt „Update der Klimadatenbasis des Klimadatenkatalogs“, bmwfj, © K. Kreč 2010

Krutzler, Th. et al.: „Energiewirtschaftliche Inputdaten und Szenarien als Grundlage zur Erfüllung der Berichtspflichten des Monitoring Mechanism“, Umweltbundesamt, Wien, 2009

Lasselsberger L.: "Kleinfeuerungen für Holz - Verbrennungstechnik/Stand der Technik", BLT, Wieselburg, 2000 Regelwerke/Entwicklung"

Lechner, H. – Austrian Energy Agency: „Energieeffizienz – unsere wichtigste ‚Energiequelle'!", Beitrag zur Fachtagung „Erneuerbare Energien: Bitte mehr!" des österr. Biomasseverbandes, Wien, 2010

Lechner, H. – Austrian Energy Agency: „Österreichs Energiemix 2020", Beitrag zum IWO-Symposium, Palais Niederösterreich, 23. September 2010

Liersch Klaus, 1986: „Belüftete Dach- und Wandkonstruktionen", Bauverlag, Wiesbaden Berlin: 1986.

Lipp Bernhard: „Der OI3-Index", IBO – Österreichisches Institut für Bauphysik, IBOmagazin 2/06, Wien, 2006 http://www.ibo.at/documents/OI3index.pdf (Abgerufen 25.10.2011, 11:58)

Malenkovic Ivan: „Modellierung eines Erdwärmetauschers", Diplomarbeit, Betreuer: Werner Andreas, Institut für Energietechnik und Thermodynamik, TU Wien, Wien, 2005

Marszal Anna J. et al.: Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, Energy and Buildings 2011. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.022. (Gefunden unter: http://www.iea-shc.org/publications/downloads/STA%20Anna%20Marzal%20Elsevier.pdf, 27.02.2011, 13:03)

Martini S. et al.:"Kopplung von Biomsaaevergasung mit SOFC-Brennstoffzelllensystem", AustrianBioEnergy, DGMK-Tagungsbericht 2008-2, ISBN 978-3-936418-80-4

Müller, A., Biermayr, P., Kranzl, L., Haas, R., Altenburger, F., Weiss, W., Bergmann, I., Friedl, G., Haslinger, W., Heimrath, R., Ohnmacht, R., 2010: „Heizen 2050: Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischen Gebäudebestand: Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050", Gefördert vom Klima- und Energiefonds.

Musall Eike et al.: Net Zero Energy Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Building Projects. Conference Paper EuroSun 2010, Graz 2010.

Nunez, Thomas et al.: „Heating and Cooling with a Small Scale Solar Driven Adsorption Chiller Combined with a Borehole System", Konferenzbeitrag, Eurosun, Lissabon 2008

Nusser Bernd, 2012: „Flachgeneigt hölzerne Dachkonstruktionen. Systemanalysen und neue Ansätze zur Planung hygrisch robuster flachgeneigter hölzerner Dachkonstruktionen unter Beachtung konvektiver Feuchteeinträge und temporärer Beschattungssituationen", Dissertation, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, Institut für Hochbau und Technologie, Fakultät für Bauingenieurwesen, Technische Universität Wien, 2012.

Obersteiner, Carlo, 2010: The market value of wind power from a generator's perspective, Dissertation an der TU Wien, 2010.

Oertel, D.: "Energiespeicher - Stand und Perspektiven" Sachstandsbericht zum Monitoring 'Nachhaltige Energieversorgung', Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, 2008

OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien 2007.

OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien 2007.

Ojanen Tuomo, Peuhkuri Ruut, Viitanen Hannu, Lähdesmäki Kimmo, Vinha, Juha, Salminen Kati, 2011: "Classification of material sensitivity – New approach for mould growth modelling", Proceedings of the 9th Nordic Symposium on Building Physics (9th NSB), Tampere, Finland, May 29th to June 2nd, 2011, pp. 867-874.

ÖNORM EN 13182, 2002: Lüftung von Gebäuden, Gerätetechnische Anforderungen für Messungen der Luftgeschwindigkeit in belüfteten Räumen, Wien 2002-06-01

ÖNORM EN 15251, 2007: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik, Wien 2007-09-01
ÖNORM EN ISO 7730, 2006: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit, Wien 2006-05-01

ÖNORM B 4119, 2010: Planungen und Ausführungen von Unterdächern und Unterspannungen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien: 2010-12-15.

ÖNORM H 6000 – T3, 1989: Lüftungstechnische Anlagen; Grundregeln; hygienische und physiologische Anforderungen für den Aufenthaltsbereich von Personen, Wien 1989-01-01

ÖNorm EN ISO 15927-4: „Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten – Teil 4: Stündliche Daten zur Abschätzung des Jahresenergiebedarfs für Heiz- und Kühlsysteme", Okt. 2005 2005

OÖ Energiesparverband, 2009: "Biomasseheizanlagen für größere Gebäude", Informationsbroschüren, OÖ Energiesparverband, Linz, 2009

Ortbauer, M.: „Modellierung eines Wärmeschichtspeichers mit Solareinbundung in Excel/VBA", Bachelorarbeit, Wien : TU Wien IET, 2011

Österreicher Doris: Methodische Ansätze für die Erstellung von Energiekonzepten. Vortrag im Rahmen des Kurzehrgangs Ecotecture – Zukunftsorientiertes Planen und Bauen, 13. Mai - 18. Juni 2010, TU Wien.

Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie & Baubook: "IBO Passivhaus-Bauteilkatalog – Ökologisch bewertete Konstruktionen", Wien. URL: www.baubook.at [22.07.2010]

Pokorny, W.; Zelger, T.; Torghele, K.; Mötzl, H.; Bauer, B.; Boogmann, P.: Passivhaus Bauteilkatalog – Ökologisch bewertete Konstruktionen, 2. Auflage, Wien: SpringerWienNewYork Verlag, 2008

Pölz, W.: "Chancen und Grenzen eines Bewertungssystems auf Basis der Primärenergie", umweltbundesamt, Wien, 2008

Purkarthofer, G.: "Technologieportrait Solarthermie", AEE INTEC, Gleisdorf

Ramming Klaus: „Bewertung und Optimierung oberflächennaher Erdwärmekollektoren für verschiedene Lastfälle", Dissertation, TU Dresden, Dresden, 2007

Reichelt, J. „Wärmepumpen, Stand der Technik" Beiträge des Symposiums "Wärmepumpen - Effizienz und Feldtest - Erfahrung" (S. 83). Heidelberg: C.F. Müller Verlag, 2008

Ruppert, L.: „Solarthermie/Prädiktive Regelung", Projektarbeit, Wien: TU Wien IET, 2011

Salcher, A. „Modellierung eines Pelletskessels", Bachelorarbeit, TU Wien, IET, Wien, 2010

Sander Knut et al.: „Studie zur Entwicklung eines Rücknahme- und Verwertungssystems für photovoltaische Produkte", Ökopol-Studie, Hamburg, 2007, Download: http://www.pvcycle.org/fileadmin/pvcycle_docs/documents/publications/Studie_PVCycle_Download_17_de_270808.pdf (Abgerufen 24.10.2011, 14:56)

Sander Knut et al.: „Stoffbezogene Anforderungen an Photovoltaik-Produkte und deren Entsorgung", Umwelt-Forschungs-Plan, FKZ 202 33 304, Endbericht, Ökopol, Institut für Ökologie und Politik GmbH, Hamburg, 2004 http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2789.pdf (Abgerufen 24.10.2011, 19:13)

Sartori Igor et al.: Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. Paper for the Eurosun 2010, Graz 2010. (Gefunden unter: http://www.iea-shc.org/publications/downloads/Task40a-Criteria_for_Definition_of_Net_Zero_Energy_Buildings.pdf, abgerufen 27.02.2011, 12:42)

Sasics Kalagasidis Angela: H-Tools International Building Physics Toolbox Block documentation; Department of Building Physics, Chalmers Institute of Technology, Sweden, Report R-02:3

Sattler, Erhard: „Betriebsverhalten von Biogasanlagen“, Bachelorarbeit, TU Wien, Institut für Thermodynamik und Energiewandlung, Wien, 2011

Sofic Mario, 2009: „Erhöhung der Anwendbarkeit vereinfachter Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden“, Dissertation, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, Institut für Hochbau und Technologie, Fakultät für Bauingenieurwesen, Technische Universität Wien, 2009.

Statistik Austria: Gebäude und Wohnungen 2001 nach Eigentümer, Eigentümerin des Gebäudes und Gebäudeart. Erstellt am: 13.08.2007. (Gefunden unter: http://www.statistik.at/web_de/static/ergebnisse_im_ueberblick_gebaeude_und_wohnungen_022978.pdf, abgerufen 12.05.2011, 17:16)

Statistik Austria: Gebäude und Wohnungen 2001 nach Eigentümer, Eigentümerin des Gebäudes und Gebäudeart. Erstellt am: 13.08.2007. (Gefunden unter: http://www.statistik.at/web_de/static/ergebnisse_im_ueberblick_gebaeude_und_wohnungen_022978.pdf, abgerufen 12.05.2011, 17:16)

Statistik Austria: Wohnen 2009 – Ergebnisse der Wohnungserhebung im Mikrozensus, Jahresdurchschnitt 2009. Wien 2010. (Gefunden unter: http://www.statistik.at/dynamic/wcmsprod/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&dID=75353&dDocName=048125, abgerufen 12.05.2011, 15:16)

Statistik Austria: Wohnen 2009 – Ergebnisse der Wohnungserhebung im Mikrozensus, Jahresdurchschnitt 2009. Wien 2010. (Gefunden unter: http://www.statistik.at/dynamic/wcmsprod/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&dID=75353&dDocName=048125, abgerufen 12.05.2011, 15:16)

Streicher W. et al.: „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“ Projektbericht zum Programm „Haus der Zukunft“, Graz, 2004

Streicher, W.: Skriptum zur Vorlesung „Sonnenenergienutzung“, Institut für Wärmetechnik, TU Graz, Graz, 2004

Streicher, Wolfgang et al.: „Fortschrittliche Wärmespeicher - Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad und Emissionsverringerung durch verringertes Takten“, Projekt zum IEA-SHC Task 32, Graz, 2006

Suna, D et al., 2011: Endbericht „The relevance of end-use electricity efficiency improvements for a sustainable Austrian economy – Deriving policy strategies" im Auftrag der österreichischen Nationalbank, Wien, 2011

Suter, J.-M. et al.: „Solar Combisystems in Austria, Denmark, Finland, France, Germany, Sweden, Switzerland, the Netherlands and the USA", Solar Heating and Cooling Committee of the IEA, IEA SHC-TASK 26

Tamme, R., 2005: Publizierung „Speicherung für Hochtemperaturwärme", Deutsches Institut für Luft und Raumfahrt (DLR), Deutschland, 2005

Torcellini Paul, Pless Shanti, Deru Michael: Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Paper for the ACEEE Summer Study, August 14−18 2006, Pacific Grove, California 2006 (gefunden unter: http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf, abgerufen 27.02.2011, 12:49)

Van Sark, Wilfried, Junginger, Martin, et al: "Technological Learning in the Energy Sector", Cheltenham, UK, 2010

Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft, 2006: "CO2-Kennzeichnung von Strom aus KWK-Anlagen - Brennstoffzuordnung auf elektrische und thermische Energie", Entwurf, hrsg. vom VIK - Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Essen, 2006

Viessmann, 2004a: "Fachreihe Solartechnik - Mit Solarenergie Heizkosten sparen", Viessmann Werke, Allendorf, 2004

Viessmann, 2004b: "Fachreihe Heiztechnik für Neubauten - Fortschrittliche Heiztechnik für Häuser mit niedrigem Wärmebedarf", Viessmann Werke, Allendorf, 2004

Viessmann, 2010: "Fachreihe Photovoltaik - Strom von der Sonne", Viessmann Werke, Allendorf, 2010

Viitanen H., Toratti T., Makkonen L., Peuhkuri R., Ojanen T., Ruokolainen L., Räisänen J., 2010: "Towards mdelling of decay risk of wooden materials". European Journal of Wood and Wood Products, Volume 68, Number 3, pp. 303-313, Springer, Berlin / Heidelberg: 2010.

Voss Karsten: Nullenergiehaus, Plusenergiehaus, Nullemissionshaus – Was steckt dahinter und wie gelingt die Umsetzung. Konferenzbeitrag zum 14. Herbstseminar 2008: Visionen werden wahr! Im Rahmen der Hausbau- und Energiemesse, Bern 2008.

Wagenknecht Thorsten, 2006: „Thermisch – Hygrisches Verhalten einer transluzenten hinterlüfteten Vorsatzfassade", Diplomarbeit, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und

Brandschutz, Abteilung Bauphysik, Fakultät für Bauingenieurwesen, Technische Universität Wien: 2006.

Wertz, D. 2009a; Straka, W.; Ponweiser, K.; Haider, M.: „Neue Perspektiven in der Erdwärmetechnik"; e&i, 126 (2009), 3; S. 117 – 125, Springer, Wien, 2009

Wertz, D. 2009b: "Gridless Polygeneration on a Renewable Basis" in: "Proceedings of the 38th ASES National Solar Conference", Buffalo/Niagara 2009

Wertz, D., Haider, M., Werner, A.: Strategie für ein Autonomes, Dezentrales, Regeneratives Energie-System“, Tagungsbeitrag, 11. Symposium Energieinnovation, 10.-12.2.2010, Graz/Austria

Wicke Lutz et al.: „Nach Kopenkahen: Neue Strategie zur Realisierung des 2°C-Max-Klimaziels“, PIK-Report No. 116, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 2010

Wild-Scholten Mariskade: „Solar as an environmental product“, SRC/MIST Forum on Solar-Electrical Energy Systems, 27 March 2011, Abu Dhabi, Download: http://smartgreenscans.nl/publications/MJdeWildScholten2011-Solar-as-an-environmental-product.pdf (Abgerufen: 10.10.2011, 19:21)

Wimmer, R. et al., 2009: Endbericht „Strategieentwicklung für energieautarke Gebäude“ für das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Programmlinie „Haus der Zukunft“, Wien im Mai 2009

Wimmer, R. et al, 2010: Zwischenbericht für die Österreichische Forschungs-förderungsgesellschaft mbH (FFG), Projekt „Zero Carbon Village“, Wien im September 2010

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Wien – Hohe Warte, auf Bestellung für Wien, Hohe Warte am 30. 8. 2006 gelieferter Datensatz, Mittelungen für das Zeitintervall zwischen 1. 1. 1976 und 31. 12. 2005, Wien 2006

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Wien – Hohe Warte, im Zuge des Forschungsprojekts „Update der Datenbasis des Klimadatenkatalogs“ für Wien, Hohe Warte am 8. 4. 2010 im Rahmen des Forschungsprojekts „Update der Klimadatenbasis des Klimadatenkatalogs“ gelieferter Datensatz, Mittelungen für das Zeitintervall zwischen 1. 1. 1978 und 31. 12. 2007, Wien 2010

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Wien – Hohe Warte, im Zuge des Forschungsprojekts „Update der Datenbasis des Klimadatenkatalogs“ für Wien, Hohe Warte am 19. 5. 2010 im Rahmen des Forschungsprojekts „Update der Klimadatenbasis des Klimadatenkatalogs“ gelieferter Datensatz, Mittelungen für das Zeitintervall zwischen 1. 1. 1978 und 31. 12. 2007, Wien 2010

Zerobin, F.: „Modellierung einer solaren Kältemaschine“, Bachelorarbeit, TU Wien IET, 2012

„Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie“, für Österreich, gemäß der Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates, ausgearbeitet durch die Verbände der erneuerbaren Energien, Wien, 2010

"Positionspapier für ein österreichisches Solarforschungs- und Technologieprogramm", Hrsg: Österreichische Solarthermie Technologie Plattform, Gleisdorf, 2007

Internet-Referenzen:

Dataholz, Katalog geprüfter Holzwerkstoffe, Wien. URL: http://dataholz.com/ [27.07.2010]

Fakro, Fakro FTT L5 Thermo, Gaweinstal. URL: http://fakro.at/ [28.07.2010]

Fraunhofer: Messwerte des „Fraunhofer-Institut für Bauphysik - Institutsteil Holzkirchen”, Standort: Freilandversuchsstelle Holzkirchen/Bayern, (Abgerufen: 10.9.2009, 14:30)

GEMIS 4.2, Stand Okt. 2004, Download: www.gemis.de

Hoesch Bausysteme , Typenblätter Dämmpaneele, Wienn URL:http://www.hoesch.at [22.07.2010]

Kleinwindkraft-Seite der AEE W, NÖ, http://www.aee-now.at/cms/index.php?id=51, abgerufen am 18. 8. 2010

Kleinwindkraftseite der IG-Windkraft, http://igwindkraft.at/index.php?mdoc_id=1008677, abgerufen am 18. 8. 2010

Passivhausvenster, Passivhausfenster und –türen, Pfosten-Riegel-Konstruktion, Hörbranz, Radstadt. URL: http://passivhausfenster.at/ [28.07.2010]

Roma Dämmsysteme, Typenblätter Dämmpaneele , Buttenwiesen. URL: http://www.roma-daemmsysteme.de/ [22.07.2010]

Roto Designo R8 NE, Bad Mergentheim. URL: http://www.roto-frank.com [28.07.2010]

Rubner, Rubner Passivhaustür, Kiens. URL: http://www.tueren.rubner.com/ [28.07.2010]

Schüco, Passivhausfassade, Bielefeld. URL: http://www.schueco.at [23.07.2010]

Standard, 2011 unter: http://derstandard.at/1319182764290/Kochen-waschen--Co-Haushalte-brauchen-immer-mehr-Strom; letzter Zugriff 2011-11-14

TECHNOpor, Glasschaum-Granulat, Krems. URL: http://www.technopor.com [27.07.2010]

Topprodukte, 2012 unter: http://www.topprodukte.at; letzter Zugriff 2012-04-04

Wiehag, Dach- Decken- und Wandsysteme, Altheim. URL:http://www.wiehag.at [27.07.2010]

Weiters:

http://passiv.de
www.hausderzukunft.at/projekte/index.htm
www.giwog.at
www.pos-architecture.com/buero
www.igpassivhaus.at

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante von Plusenergie-Wohngebäuden p. a. an fünf beispielhaften Standorten in Österreich.....14
Abbildung 2: Szenarien der Anzahl von Plusenergiegebäuden am österreichischen Gebäudebestand.....16
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Studienstruktur und Inhalte 22
Abbildung 4: Grafische Darstellung des Plusenergiekonzeptes. Der Energiebedarf des Gebäudes wird durch gezielte Energieeinsparungsmaßnahmen reduziert und durch am Standort produzierte Energie gedeckt. Überschussenergie wird ins (Strom-)netz eingespeist, Unterdeckungen durch Energiebezug kompensiert. Die Differenz zwischen Energiebereitstellung und Energiebezug aus dem Netz für eine ausgeglichene Bilanz wird auch als „*Mismatch*“ – eine Diskrepanz - bezeichnet. Je geringer dieser Mismatch ausfällt, desto geringer ist auch die Beanspruchung des Netzes. 26
Abbildung 5: Mögliche regenerative Energieversorgungsmaßnahmen und Systemgrenzen zur Bilanzierung von Plus-Energiegebäuden (Quelle: Marszal et al. 2011, S. 5).....27
Abbildung 6: Bilanzierungsgrenzen eines Plusenergiegebäudes; Quelle: IEA Annex 53 32
Abbildung 7: Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur an verschiedenen Standorten in Österreich.....41
Abbildung 8: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit an verschiedenen Standorten in Österreich.....42
Abbildung 9: Monatssumme des Niederschlags an verschiedenen Standorten in Österreich 43
Abbildung 10: Monatssumme der Globalstrahlung an verschiedenen Standorten in Österreich.....44
Abbildung 11: Monatssumme der Himmelsstrahlung an verschiedenen Standorten in Österreich.....45
Abbildung 12: Monatsmittelwerte des Luftdrucks an verschiedenen Standorten in Österreich 46
Abbildung 13: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit an verschiedenen Standorten in Österreich.....47
Abbildung 14: Modellgebäudetyp Kleingartenhaus mit unterschiedlich großen südseitigen Verglasungsflächen.....57
Abbildung 15: Modellgebäudetyp Einfamilienhaus als Grundvariante, mit Keller und mit einhüftigem Satteldach.....58
Abbildung 16: Umsetzungsbeispiel: Das VELUX Sunlighthouse in Pressbaum soll innerhalb von 30 Jahren mehr CO2-Emissionen einsparen, als bei seiner Errichtung und durch den Betrieb verursacht werden. (© Adam Mork, Kopenhagen).....58
Abbildung 17: Grundrissdarstellung und Schemaschnitt zu Modellgebäudetyp ost-westorientiertes Reihenhaus.....59
Abbildung 18: Ansicht Ost und Schemaschnitte zu Modellgebäudetyp ost-westorientiertes Reihenhaus mit einhüftigem Satteldach.....60

Abbildung 19: Grundrissdarstellung und Schemaschnitt zu Modellgebäudetyp nord-südorientiertes Reihenhaus.....61
Abbildung 20: Schemaschnitt und Ansicht Süd zu Modellgebäudetyp nord-südorientiertes Reihenhaus mit einhüftigem Satteldach.....61
Abbildung 21: Umsetzungsbeispiel: Plusenergie-Reihenhausanlage in Weiz in der Steiermark. Die 24 Holzfertigteilgebäude wurden in Passivhausqualität ausgeführt. Sie decken mit ihrer über 1000 m² großen PV-Anlage nicht nur den Eigenbedarf an Strom, sondern erwirtschaften über 1 Jahr bilanziert sogar einen Überschuss. (© ARCH° BUERO KALTENEGGER) 61
Abbildung 22: Modellgebäudetyp Mehrfamilienhaus mit unterschiedlich großen südseitigen Verglasungsflächen.....62
Abbildung 23: Umsetzungsbeispiel: Plus-Energie-Dachgeschossausbau eines typischen Wiener Gründerzeithauses in der Ybbsstraße in Wien. Das Projekt soll die Anwendbarkeit des Plus-Energie-Konzeptes auf Dachgeschoßausbauten von Gründerzeithäusern aufzeigen. (© Schöberl und Pöll GmbH) 63
Abbildung 24: Ansichten und Regelgeschoss-Grundriss zu Modellgebäudetyp Bürohochhaus 64
Abbildung 25: Umsetzungsbeispiel ENERGYbase: Das Bürogebäude in Passivhausbauweise in Wien vereint Energieeffizienz und erneuerbare Energien mit höchstem Nutzerkomfort. (© Hurnaus).....64
Abbildung 26: Grundriss und Schemaschnitte zu Modellgebäudetyp Werkshalle mit Flachdach und mit Sheddachkostruktion 66
Abbildung 27: Wärmebedarf der Gebäude in GWh (WG...Wohngebäude, NWG...Nicht-Wohngebäude); Quelle: Müller et al 2010, eigene Darstellung.....71
Abbildung 28: Entwicklung des Wärmebedarfs [GWh] des österreichischen Gebäudebestands von 2010 bis 2050 unter Ausschöpfung vorhandener Sanierungspotentiale; Quelle: Müller et al 2010, eigene Darstellung.....72
Abbildung 29: Thermische Sanierungspotentiale in der Fassadengestaltung (Sanierung am Dieselweg in Graz) 73
Abbildung 30: Dachbodenausbau in der Maria-Treu-Gasse in Wien von pos-Architekten; Die untere Büroebene liegt noch im Altbau und weist Niedrigstenergie-Standard auf, die darüber liegende, neue Wohnebene hat Passivhaus-Standard. 73
Abbildung 31: Krisenszenario. Temperatur in Gebäuden nach OIB-Richtlinien (blau), in Passivhaus (grün)- und in Plusenergie-Standard (rot) im Winterhalbjahr. Nur wenn die kontrollierte Lüftungsanlage mit Solarstrom läuft, stellen sich ohne weitere Energiezufuhr annehmbare Temperaturen von minimal etwa 12°C ein. An anderen Standorten in Österreich kann die Situation auch deutlich schlechter sein. (© Univ.Prof. DI Dr. Klaus Krec, Ass.Prof. DI Dr. Karin Stieldorf, ANB, TU Wien, 2011).....74
Abbildung 32: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfs unterschiedlicher Gebäudetypen in Abhängigkeit des Gebäudestandorts in einem Einzonenmodell. Es werden hier die nach Süden ausgerichteten Gebäude mit Verglasungsvariante V1 (kleinste südseitige Verglasung) dargestellt.....76

Abbildung 33: Temperaturverhalten des Testraums Einfamilienhaus (EFH) mit großer südorientierter Glasfläche (V3) in der Sommertauglichkeitssimulation an fünf Standorten mit unterschiedlicher Klimalage und Seehöhe. 77
Abbildung 34: Flächenbezogener Heizwärmebedarf des nord-südorientierten Reihenhauses bei unterschiedlich großer südorientiertere Verglasungsfläche an verschiedenen Standorten. 78
Abbildung 35: Einfluss des Verglasungsanteils in der Fassade auf den sensiblen Kühlbedarf eines Normsommertages und den Heizwärmebedarf eines durchschnittlichen Jännertages im Testraum Büro am Teststandort Wien....79
Abbildung 36: Gegenüberstellung der maximal auftretenden sommerlichen Raumtemperaturen in Testraum RHn in Massivbauweise mit dem Heizwärmebedarf des jeweils zugehörigen Modellgebäudes am Standort Innsbruck. 80
Abbildung 37: Einfluss der Orientierung auf den sensiblen Kühlbedarf und die sensible Kühllast eines Normsommertages am Teststandort Wien für Testraum Büro V1....80
Abbildung 38: Temperaturverhalten des Testraums Einfamilienhaus (EFH) in der Sommertauglichkeitssimulation am Standort Wien mit unterschiedlich großer südorientierter Glasfläche. 81
Abbildung 39: Einfluss der Verschattung auf den Heizwärmebedarf beim ost-west- und nord-südorientierten Mehrfamilienhaus (MFHow bzw. MFHns) mit kleinstem Verglasungsanteil (V1) an unterschiedlichen Standorten. 82
Abbildung 40: Einfluss der Lüftungswärmerückgewinnung auf den Heizwärmebedarf beim Mehrfamilienhaus am Standort Wien, V1. 83
Abbildung 41: Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Verbesserung der Sommertauglichkeit von Testraum nord-südorientiertes Mehrfamilienhaus (MFHn) am Standort Innsbruck. 84
Abbildung 42: Einfluss der Nachtlüftung auf den sensiblen Kühlbedarf eines Normsommertages in Testraum Büro V1 am Teststandort Wien....85
Abbildung 43: Einfluss der Verglasungsart auf den sensiblen Kühlbedarf eines Normsommertages und den Heizwärmebedarf eines durchschnittlichen Jännertages im Testraum Büro V1 am Teststandort Wien....86
Abbildung 44: PPD als Funktion des PMV [EN ISO 7730:2006]....88
Abbildung 45: Lokale thermische Unbehaglichkeit durch asymmetrische Strahlungstemperatur (Legende: 1 = warme Decke; 2 = kühle Wand; 3 = kühle Decke; 4 = warme Wand) [EN ISO 7730:2006]....91
Abbildung 46: Behaglichkeitsfenster relative Feuchte nach ÖNORM H 600 T3 92
Abbildung 47: zulässige Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur nach EN 13182 93
Abbildung 48: Schematische Darstellung Raummodell 95
Abbildung 49: Darstellung der Geometrie des Berechnungsmodells in Buildopt_VIE 96
Abbildung 50: Darstellung des zugrundeliegenden Anlagenschemas 98
Abbildung 51: Primärenergiebedarf bezogen auf m²(BGF) für Raumheizung/Raumkühlung/Luftbeförderung in kWh/m² 100
Abbildung 52: Kumulierte Bewertung für PMV<-0.25 bzw. PMV>0.25 100

Abbildung 53: Kumulierte Bewertung für PMV<-0.25 bzw. PMV>0.25 101
Abbildung 54: Jährlicher Kühlbedarf in kWh/m².BGF.....102
Abbildung 55: schematische Darstellung des konvektiven Wärme-und Feuchtetransportes (blaue Pfeile) in einer typischen Leichtbaukonstruktion (Außenwand) mit hinterlüfteter Fassade.....105
Abbildung 56: schematische Darstellung des konvektiven Wärme-und Feuchtetransportes (blaue Pfeile) in einer Leichtbaukonstruktion (Außenwand) mit einem nicht hinterlüfteten Solarkollektor.....106
Abbildung 57: Gesamtfeuchtegehalt der Grundkonstruktion mit und ohne Leckage an der Innenseite.....107
Abbildung 58: Gesamtfeuchtegehalt der Grundkonstruktion mit Leckage und einem typischen Sonnenkollektor an der Außenseite. Die Berechnungen mit Sonnenkollektor wurden einmal mit und einmal ohne solare Einstrahlung durchgeführt. 108
Abbildung 59: Relative Luftfeuchte an der Innenseite der Wärmedämmung 109
Abbildung 60: Der gleitende Wochenmittelwert für den Wärmestrom von Innen nach Außen 110
Abbildung 61: Lebenszyklus von Baustoffen [Eyerer, P. et al, 2000].....111
Abbildung 62: Systemgrenzen der Bewertung [GrAT, 2012] 112
Abbildung 63: Gesamtsystem „Energieautarkes Haus“ („Wireless House“) – Überblick über die Zusammenhänge der verschiedenen Komponenten nach Temperaturniveaus und thermischem und elektrischem Betrieb [Wimmer et al., 2009].....157
Abbildung 64: Vergleich des Dampfdrucks von Wasser und Öl [HTT, 2011].....160
Abbildung 65: Jährlicher Stromverbrauch nach Haushaltsgröße mit unterschiedlicher Geräteausstattung modelliert im Vergleich zu Angaben der Statistik Austria 162
Abbildung 66: Jährlicher Strombedarf ausgewählter Haushaltsgroßgeräte und der Beleuchtung nach heutigem Standard und mit effizienter Geräteausstattung in unterschiedlichen Haushaltsgrößen. Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Messdaten und dem stochastischen Markovketten-Modell; man beachte die abweichende Skala bei den Geschirrspülern. 164
Abbildung 67: Lastprofil eines 3-Personen Einfamilienhauses innerhalb eines Jahres 165
Abbildung 68: Energieeffizienz-Erfahrungskurve für Kühl- und Gefriergeräte (linke Achse) sowie Geschirrspüler, Waschmaschinen und Wäschetrockner (rechte Achse); (entnommen aus van Sark, et al, 2010) 166
Abbildung 69: Stromverbrauch in Österreichs Haushalten [GrAT, 2012].....167
Abbildung 70: Betriebskosten von Waschmaschinen [GrAT, 2012].....168
Abbildung 71: Betriebskosten von Geschirrspülern [GrAT, 2012].....169
Abbildung 72: Gesamtkosten von Waschmaschinen [GrAT, 2012] 169
Abbildung 73: Gesamtkosten von Geschirrspülern [GrAT, 2012] 170
Abbildung 74: Modelliertes Lastprofil des Bürogebäudes für eine Woche mit unterschiedlicher Geräteausstattung.....173
Abbildung 75: Lastprofil der Fabrikhalle eines Jahres in Kilowatt; Quelle: Messungen des Instituts für Fertigungstechnik, TU Wien über den Zeitraum eines halben Jahres am Standort Engerthstraße, Wien 175

Abbildung 76: Energieeinsatz einer typischen Werkzeugmaschine 175
Abbildung 77: Thermischer und elektrischer Energiebedarf der Fabrikhalle; Quelle: Instituts für Fertigungstechnik, TU Wien 176
Abbildung 78: Maschinen- und Messgeräteausstattung einer typischen Fabrikhalle 176
Abbildung 79: Energieversorgungsschema „Zero Carbon Village“ – Prototyp [GrAT] 177
Abbildung 80: Eine Abschätzung des Zusammenhangs zwischen Investitionskosten und thermischer Leistung wurde durch eine Marktanalyse vorgenommen. Die drei Linien im oberen Teil der Abbildung zeigen, in welchem Verhältnis die Investitionskosten von Hackgutanlagen (rot) Pelletskesseln (grün) und Stückholzkesseln (blau) zueinander stehen. Die untere Hälfte zeigt Kostenfunktionen für verschiedene Wärmepumpensysteme. 179
Abbildung 81: Entwicklung von Preisen und Kosten im Zusammenhang mit der kumulierten Produktion (entnommen aus Kobos, P. H. et al, ursprüngliche Konzeption: Boston Consulting Group, 1968). 180
Abbildung 82: Für die in der Studie betrachteten Energiewandler wurden Kostenfunktionen für die Investitionskosten berechnet 181
Abbildung 83: Historische und erwartete, zukünftige Entwicklung der Brennstoff- und Strompreise; Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Statistik Austria und ProPellets Austria 182
Abbildung 84: Szenarien als Ausgangspunkt für mögliche Marktentwicklungen erneuerbarer Energie-Technologien in Österreich (links: ambitionierte Marktentwicklung, rechts: moderate Marktentwicklung). Quelle: Bointner et al, 2012 183
Abbildung 85: Szenarien als Ausgangspunkt für mögliche Marktentwicklungen erneuerbarer Energie-Technologien in der EU-27 (links: ambitionierte Marktentwicklung, rechts: moderate Marktentwicklung). Quelle: Bointner et al, 2012 184
Abbildung 86: Erwartete Preisänderung von Energiebereitstellungstechnologien in Gebäuden zur Bestimmung der Reinvestitionskosten unter Berücksichtigung der Inflationsrate 184
Abbildung 87: zeitlicher Verlauf für je zwei Tage in unterschiedlichen Jahreszeiten 189
Abbildung 88: Energiebilanz über die einzelnen Abschnitte eines einfachen Pelletskessel-Speichersystems für ein Referenzjahr aus MS-Excel mit den Bilanzgrenzen, die auch in der folgenden Abbildung angegeben sind 190
Abbildung 89: Diese Energie-Mengenflussbild-Darstellung soll die Bilanzierungsgrenzen und ungefähre quantitative Verhältnisse illustrieren 191
Abbildung 90: Zuordnung der elektrischen Energiemengen, Ausschnitt aus Abbildung 89 .192
Abbildung 91: Bei richtiger Auslegung der Kesselanlage ist der Aufwand an elektrischer Energie im Vergleich mit dem Gesamtenergieaufwand nahezu zu vernachlässigen; die relativ höheren Anteile an CO_2-Emissionen sind ein Resultat daraus, dass elektrische Energie einen deutlich höheren Emissionsfaktor aufweist als thermische Energie aus Holzpellets. 193
Abbildung 92: Für die Herstellung eines Pelletskessels mit 90 kW Leistung errechnen sich die dargestellten Beträge für GWP, AP und PEI 194
Abbildung 93: Installierte Pelletskessel in Österreich; Quelle: Eigene Darstellung, Daten von Biermayr et al, 2012 194
Abbildung 94: GWP, AP und PEI für eine Fernwärme-Übergabestation mit 80 kW thermischer Leistung 195

Abbildung 95: Die Zusammensetzung eines kristallinen Moduls aus verschiedenen Materialien wurde der Ökobilanz der Photovoltaik zu Grunde gelegt. 197
Abbildung 96: Kumulierte installierte PV-Leistung in Österreich in kWpeak; Quelle: Eigene Darstellung, Daten von Biermayr et al, 2012.....198
Abbildung 97: Fortschrittsrate im Bereich der Photovoltaik (entnommen aus van Sark, Wilfried, et al.). Die Lernrate ergibt sich aus 1 – 0,794 = 0,206. 199
Abbildung 98: Der Vergleich zwischen Alu- und Holzwannenkollektor zeigt moderate Unterschiede in der GWP-Bilanz; Ausgangsdaten: Solarthermiekollektor „Ökotech HAT“ mit 4,318 m² Brutto-Kollektorfläche; Vergleichsdaten Alu-Wannen-Kollektor: Eigene Berechnungen.....200
Abbildung 99: In Betrieb befindliche thermische Kollektorfläche in Österreich; Quelle: Eigene Darstellung, Daten von Biermayr et al, 2012.....201
Abbildung 100: Vergleich der Fortschrittsraten von Solarthermie und PV 1997-2010 auf Basis von Endkundenpreisen; Quelle: AEE INTEC, 2011 in Bointner et al, 2012 201
Abbildung 101: Mit steigender Temperatur im Heizsystem sinkt die Effizienz von Wärmepumpen. Die durchgezogene, schwarze Linie zeigt den $COP_{theoretisch}$ in Abhängigkeit von der Kondensatortemperatur unter der Annahme von 4°C Verdampfertemperatur. Die Kreise und Rechtecke darunter zeigen Prüfresultate realer Wärmepumpen nach EN 14511. Das blaue Feld markiert das Gebiet, in dem die meisten in Feldtests ermittelten Jahresarbeitszahlen zu liegen kommen [Wertz2009].....204
Abbildung 102: Temperaturverläufe an der Oberfläche und im Erdreich sowie für die Außenlufttemperatur; Daten der Wetterstation Holzkirchen/Bayern 206
Abbildung 103: Für den Fall des ungestörten Erdreichs zeigt das Mehrschichtmodell (grüne Linie) eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten für den Fall der Erdoberfläche (oben), für einen halben (Mitte) und für einen Meter Tiefe (unten). Die rote Linie zeigt das Ergebnis aus einer einfachen TRNSYS-Simulation 207
Abbildung 104: Temperaturverläufe des Erdreichs ohne (oben) und mit (unten) Berücksichtigung der entzogenen thermischen Leistung. Das Erdregister wurde hier in 2,5m Tiefe angenommen. 208
Abbildung 105: Ergebnisse zur Ökobilanz eines einfachen Wärmepumpensystems 209
Abbildung 106: Kumulierter Bestand an Wärmepumpen in Österreich unter der Annahme einer technischen Lebensdauer von 20 Jahren. Quelle: Eigene Darstellung, Daten Biermayr et al, 2012.....210
Abbildung 107: Für den Fall des Mehrfamilienhauses wurden einfache Strömungssimulationen vorgenommen.....211
Abbildung 108: Darstellung von Geschwindigkeitskontur (oben), Strömungslinie (mitte) und Druckverteilung (unten) im Falle eines alleinstehenden Mehrfamilienhauses und Anströmung von der Seite 212
Abbildung 109: Das Strömungsdargebot für das in der Mitte angeordnete Mehrfamilienhaus ist bei der dargestellten Konstellation unbefriedigend.....213
Abbildung 110: ökologische Effekte für die Herstellung eines Gaskessels.....214
Abbildung 111: Die Erfahrungskurve von Gas-Brennwertkesseln am Beispiel der Niederlande (entnommen aus van Sark, et al 2010) 215

Abbildung 112: Für die Ökobilanz wurde ein Speicher mit 1,6 m³ Nutzvolumen herangezogen. Der obere Teil der Grafik zeigt die Ergebnisse für die Variante mit rechteckiger Holzschalung und Zellulose-Ausblasdämmstoff; der untere Teil gibt die Ergebnisse für die Umwicklung des Speichers mit Steinwolle-Dämmstoff wieder. Alle Werte sind auf ein m³ Speichervolumen bezogen. 217
Abbildung 113: Die energetische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)....223
Abbildung 114: Die energetisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)....223
Abbildung 115: Die ökologische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)....224
Abbildung 116: Die ökologisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)....226
Abbildung 117: Die ökonomische Optimierung des Kleingartenhauses am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 227
Abbildung 118: Die ökonomisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 228
Abbildung 119: Die energetische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)....230
Abbildung 120: Die energetisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)....230
Abbildung 121: Die ökologische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)....231
Abbildung 122: Die ökologisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)....232
Abbildung 123: Die ökonomische Optimierung der Einfamilienhäuser am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 234
Abbildung 124: Die ökonomisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 234
Abbildung 125: Die energetische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)....236
Abbildung 126: Die energetisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)....236
Abbildung 127: Die ökologische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)....237
Abbildung 128: Die ökologisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050)....238
Abbildung 129: Die ökonomische Optimierung der Reihenhäuser am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 240
Abbildung 130: Die ökonomisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 240
Abbildung 131: Die energetische Optimierung der Mehrfamilienhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050)....242

Abbildung 132: Die energetisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050).....242
Abbildung 133: Die ökologische Optimierung der Mehrfamilienhäuser am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050).....243
Abbildung 134: Die ökologisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050).....244
Abbildung 135: Die ökonomische Optimierung der Mehrfamilienhäuser am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 245
Abbildung 136: Die ökonomisch günstigste Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 246
Abbildung 137: Kostengliederung des Mehrfamilienhauses NS am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 246
Abbildung 138: Die energetische Optimierung von Büro und Gewerbe am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050).....248
Abbildung 139: Die energetisch günstigste Büro-Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050).....248
Abbildung 140: Die energetisch günstigste Gewerbe-Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050) 249
Abbildung 141: Die ökologische Optimierung von Büro und Gewerbe am Standort Wien (Errichtung und Betrieb bis 2050).....250
Abbildung 142: Die ökologisch günstigste Büro-Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050).....251
Abbildung 143: Die ökologisch günstigste Gewerbe-Variante an unterschiedlichen Standorten (Errichtung und Betrieb bis 2050) 251
Abbildung 144: Die ökonomische Optimierung von Büro und Gewerbe am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 253
Abbildung 145: Die ökonomisch günstigste Büro-Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 253
Abbildung 146: Kostengliederung des Bürogebäudes NS am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 254
Abbildung 147: Die ökonomisch günstigste Gewerbe-Variante an unterschiedlichen Standorten nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050).....255
Abbildung 148: Kostengliederung des Gewerbebetriebs mit Schrägdach am Standort Wien nach der Barwertmethode (Errichtung und Betrieb bis 2050) 255
Abbildung 149: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante bei Wohngebäuden unter Berücksichtigung von Errichtung und Betrieb bis 2050 (Errichtung und Betrieb bis 2050) 258
Abbildung 150: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante bei Nicht-Wohngebäuden unter Berücksichtigung von Errichtung und Betrieb bis 2050 (Errichtung und Betrieb bis 2050).....258
Abbildung 151: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante bei Wohngebäuden p. a. 259

Abbildung 152: Nicht-erneuerbare Primärenergie der ökonomisch günstigsten Variante bei Nicht-Wohngebäuden p. a. 259
Abbildung 153: Chemiehochhaus der Technischen Universität Wien; links vor der Sanierung und rechts ein Rendering der Sanierung zum Plusenergiebüro mit fassadenitegrierter PV-Anlage; Quelle: TU-Wien (links), Architekten Hiesmayr-Gallister-Kratochwil (rechts) 266
Abbildung 154: Szenarien der Anzahl von Plusenergiegebäuden am österreichischen Gebäudebestand 267
Abbildung 155: Szenarien der Anzahl von Plusenergie-Wohngebäuden in Österreich 268
Abbildung 156: Szenarien der Anzahl von Plusenergie-Nicht-Wohngebäuden in Österreich 268
Abbildung 157: Exemplarische Darstellung der Struktur der halbsynthetischen Klimadatensätze 296
Abbildung 158: Energiebilanz einer Zone 334
Abbildung 159: Schematische Darstellung des Schichtenmodells für Trennbauteile (Bsp.: Wand zwischen Bürozone und Gangbereich) 336
Abbildung 160: Schematische Darstellung des Wärmestroms durch eine Schicht 336
Abbildung 161: Schematische Darstellung des Wärmestroms der äußeren Konstruktionsschicht 338
Abbildung 162: Schematische Darstellung Strahlungsverteilung, solarer Wärmeeintrag 342
Abbildung 163: Schematische Darstellung des Wärmestroms der inneren Konstruktionsschicht 342
Abbildung 164: Strahlungsbilanz (Prinzipskizze) 347
Abbildung 165: Strompreisentwicklung [Energie-Control Austria, 2011] 356
Abbildung 166: Entwicklung der Kosteneinsparung bis 2030 [Suna, 2011] 356

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hierarchische Darstellung der empfohlenen Energieversorgungsmaßnahmen für Null- oder Plus-Energiegebäude nach Torcellini et al. 2006, S.3 28
Tabelle 2: Vor- und Nachteile häufig verwendeter Bilanzierungsmethoden nach Torcellini et al. (Quelle: Torcellini et al. 2006, S. 11) 30
Tabelle 3: Primärenergiefaktoren und CO2-Emissionen verschiedener Energieträger; Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der E-Control 37
Tabelle 4: Primärenergiefaktoren und CO2-Emissionen des Strombezugs vom Netz nach Monaten; Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der E-Control 38
Tabelle 5: Meteorologische Größen der halbsynthetischen Klimadatensätze 50
Tabelle 6: Planungsmaßnahmen für den ganzheitlichen städtebaulichen Entwurf (nach Everding (Hrsg.) 2007) 54
Tabelle 7: Maßnahmenbündel zur Erreichung des Zielstandard Plusenergie (Quelle: in Anlehnung an Österreicher, 2010) 68
Tabelle 8: Kategorien optimaler operativer Raumlufttemperaturen nach EN ISO 7730 90
Tabelle 9: Auslegungswerte für lokale Luftgeschwindigkeiten (Mittelwerte in m/s bei einer Messung über drei Minuten, die nach EN 13182 erfolgt ist) 94
Tabelle 10: Schichtaufbau und Materialdaten der Geschoßdecke (von unten nach oben) 97
Tabelle 11: Schichtaufbau und Materialdaten der Außenwand (von innen nach außen) 97
Tabelle 12: Fenstervarianten deren Berechnungsparameter 97
Tabelle 13: Variantenbeschreibung 99
Tabelle 14: Variantenbeschreibung 102
Tabelle 15: Bewertung der Trennbarkeit 116
Tabelle 16: Bewertung Nutzungsstufen 118
Tabelle 17: Bewertungskategorien 118
Tabelle 18: Aufbauten der Modellgebäude 120
Tabelle 19: Übersicht über den Stromverbrauch von Haushaltsgeräten 163
Tabelle 20: Jährlicher Stromverbrauch und Stromverbrauchs-Reduktionspotentiale im Haushalt [GrAT, 2012] 167
Tabelle 21: Angenommene Geräteausstattung im Bürogebäude; Quelle: Eigene Daten und Ergänzungen von www.topprodukte.at 171
Tabelle 22: Stromverbraucher im Büro [Quelle: eigene Recherchen] 174
Tabelle 23: Brennstoff- und Strompreise sowie die Lebensdauer von Energiebereitstellungstechnologien; Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Statistik Austria und ProPellets Austria 182
Tabelle 24: Eingabeoptionen für Erdwärmepumpen 205
Tabelle 25: Basisausführung der Modellgebäude am Standort Wien, Hohe Warte; Ergebnisse aus Errichtung und Betrieb bis 2050 218
Tabelle 26: Variantenübersicht 222
Tabelle 27: Variantenübersicht 225
Tabelle 28: Variantenübersicht 227

Tabelle 29: Variantenübersicht....229
Tabelle 30: Variantenübersicht....231
Tabelle 31: Variantenübersicht....233
Tabelle 32: Variantenübersicht....235
Tabelle 33: Variantenübersicht....237
Tabelle 34: Variantenübersicht....239
Tabelle 35: Variantenübersicht....241
Tabelle 36: Variantenübersicht....243
Tabelle 37: Variantenübersicht....245
Tabelle 38: Variantenübersicht....247
Tabelle 39: Variantenübersicht....250
Tabelle 40: Variantenübersicht....252
Tabelle 41: Schimmel-Index nach (Ojanen 2011)....351
Tabelle 42: Faktor k1 (Ojanen 2011)....352
Tabelle 43: Werte zur Berechnung des Faktors k2 (Ojanen 2011)....353
Tabelle 44: Thermische Verbraucher im Haushalt [Statistik Austria 2008]....354
Tabelle 45: Stromverbraucher im Büro – vollständige Liste [Quelle: eigene Recherchen]....354
Tabelle 46: Stromverbrauch im Büro, Bestand [Quelle: eigene Recherchen]....355

12. Anhang

Im Anhang sind ergänzende Informationen angeführt, die im Sinne einer Vervollständigung des Berichts erforderlich sind, aber wegen ihres Umfangs nicht innerhalb des Berichts dargestellt sind.

12.1. Dokumentation der halbsynthetischen Klimadaten

Dieses Kapitel enthält eine Dokumentation der Datengrundlagen und der erzeugten halbsynthetischen Klimadatensätze für die vier ausgewählten Gebäudestandorte.

Datenstruktur

Die erzeugten halbsynthetischen Klimadatensätze sind für jeden Standort in eine EXCEL-Datei kopiert worden. Als Ergebnis dieser Arbeit liegen somit folgende fünf Dateien vor:

HSKD_Wien.xslx
HSKD_Innsbruck.xslx
HSKD_Klagenfurt.xslx
HSKD_Mallnitz.xslx
HSKD_Radstadt.xslx

Die fünf Dateien haben jeweils dieselbe Struktur. Der Dateianfang der HSKD für Wien ist in folgender Abbildung exemplarisch dargestellt:

Halbsynthetischer Klimadatensatz (langjaehrig 1978-2007)
Standort: Wien
geogr. Breite: 48° 15' 0''
geogr. Laenge: 16° 21' 28''
Seehoehe: 198

Tag	Monat	Stunde	Temperatur [°C]	rel. Feuchtigkeit [%]	Niederschlag [mm]	Globalstrahlung [W/qm]	Himmelsstrahlung [W/qm]	Direktstrahlung [W/qm]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Luftdruck [hPa]
1	1	1	-3.5	82	0	0	0	0	2.3	1000.2
1	1	2	-3.9	84	0	0	0	0	0.9	1000.1
1	1	3	-4.2	85	0	0	0	0	1.2	1000
1	1	4	-4.3	87	0	0	0	0	1.1	999.6
1	1	5	-4.8	90	0	0	0	0	0.4	999.2
1	1	6	-5.2	93	0	0	0	0	0.9	999
1	1	7	-5.5	95	0	0	0	0	0.8	999.1
1	1	8	-5.5	96	0	0	0	0	0.7	998.7
1	1	9	-4.3	94	0	55.556	33.333	22.222	1.3	998.7
1	1	10	-2.5	85	0	144.444	63.889	80.556	0.4	998.9
1	1	11	-1.6	85	0	247.222	97.222	150	0.6	998.3
1	1	12	-1.2	85	0	233.333	116.667	116.667	1.3	997.8
1	1	13	-0.1	79	0	233.333	125	108.333	1	996.7
1	1	14	0.6	74	0	200	122.222	77.778	0.9	996.1
1	1	15	0.5	78	0	136.111	100	36.111	0.7	995.7
1	1	16	2.6	55	0	41.667	38.889	2.778	3.7	995.2
1	1	17	3	51	0	0	0	0	3.8	995
1	1	18	2.9	55	0	0	0	0	5.2	994.7
1	1	19	3.5	55	0	0	0	0	5.7	994.4
1	1	20	3.6	56	0	0	0	0	5.8	994.5
1	1	21	4	57	0	0	0	0	7.8	994.4
1	1	22	4	57	0	0	0	0	9.1	994.4
1	1	23	3.9	56	0	0	0	0	10.4	994
1	1	24	4	56	0	0	0	0	11	994.2
2	1	1	3.4	57	0	0	0	0	10.9	993.8
2	1	2	4.1	55	0	0	0	0	10.3	993.9

Abbildung 157: Exemplarische Darstellung der Struktur der halbsynthetischen Klimadatensätze

Die ersten 5 Zeilen enthalten Informationen über die Messstation. Es folgen zwei Zeilen, die die Überschriften der jeweiligen Spalten enthalten. Es folgen 8760 Zeilen mit Stundenwerten aller betrachteten meteorologischen Elemente. Die erste dieser Zeilen enthält die 1-Uhr-Werte für den ersten Januar, die letzte die 24-Uhr-Werte für den 31. Dezember.

12.1.1. Standort: Wien

Im Folgenden sind sowohl die zur Erzeugung der HSKD heran gezogenen Monatsmittelwerte als auch die Jahresverläufe der generierten HSKD für jede Datenart dokumentiert.

12.1.1.1. Datengrundlagen

Der Erstellung von halbsynthetischen Klimadatensätzen (HSKD) liegen Monatsmittelwerte der benötigten meteorologischen Daten zugrunde. Im Fall des hier vorliegenden Klimadatensatzes sind dies die für den langjährigen Schnitt für Wien, Hohe Warte, repräsentativen Mittelwerte.

Der Erzeugung des Satzes halbsynthetischer Klimadaten wurden folgende Eingabedaten zugrunde gelegt:

Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur [°C]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
0.45	2.01	6.36	10.89	15.82	18.90	20.91	20.67	16.19	10.98	5.20	1.56	UPTEMP[21]

Wien, Hohe Warte; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit der Außenluft [%]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
78.8	75.7	71.1	65.6	65.8	66.1	65.6	68.0	75.1	79.0	81.7	81.7	ZAMG[22]

Wien, Hohe Warte; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatssumme des Niederschlags [mm]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
36.4	42.6	50.4	47.1	63.0	66.2	65.1	67.1	59.9	38.4	50.1	46.7	ZAMG[23]

Wien, Hohe Warte; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

[21] UPTEMP, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken aus Tagesmittelwerten meteorologischer Messstationen [4]
[22] Langjährige Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit der Außenluft, geliefert von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Hohe Warte (ZAMG) [5]
[23] Langjährige Monatssummen des Niederschlags, geliefert von der ZAMG [5]

Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
909.5	1705.1	2721.6	4174.6	5345.7	5654.3	5538.9	4841.1	3378.6	2031.1	952.6	661.4	ZAMG[24]

Wien, Hohe Warte; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Mittlere monatliche Tagessummen der Himmelsstrahlung auf die horizontale Fläche [Whm^{-2}]

J	*F*	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
658.1	*975.0*	1732.3	2103.3	2929.0	2956.7	2906.5	2138.7	1840.0	1241.9	653.3	474.2	ZAMG[25]

Wien, Hohe Warte; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte des Luftdrucks [hPa]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
994.8	993.4	991.5	989.0	990.3	990.9	991.4	991.4	992.7	993.8	993.6	993.9	ZAMG[26]

Wien, Hohe Warte; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit [ms^{-1}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
3.9	3.9	3.9	3.8	3.6	3.7	3.5	3.3	3.3	3.2	3.6	3.8	ZAMG[27]

Wien, Hohe Warte; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

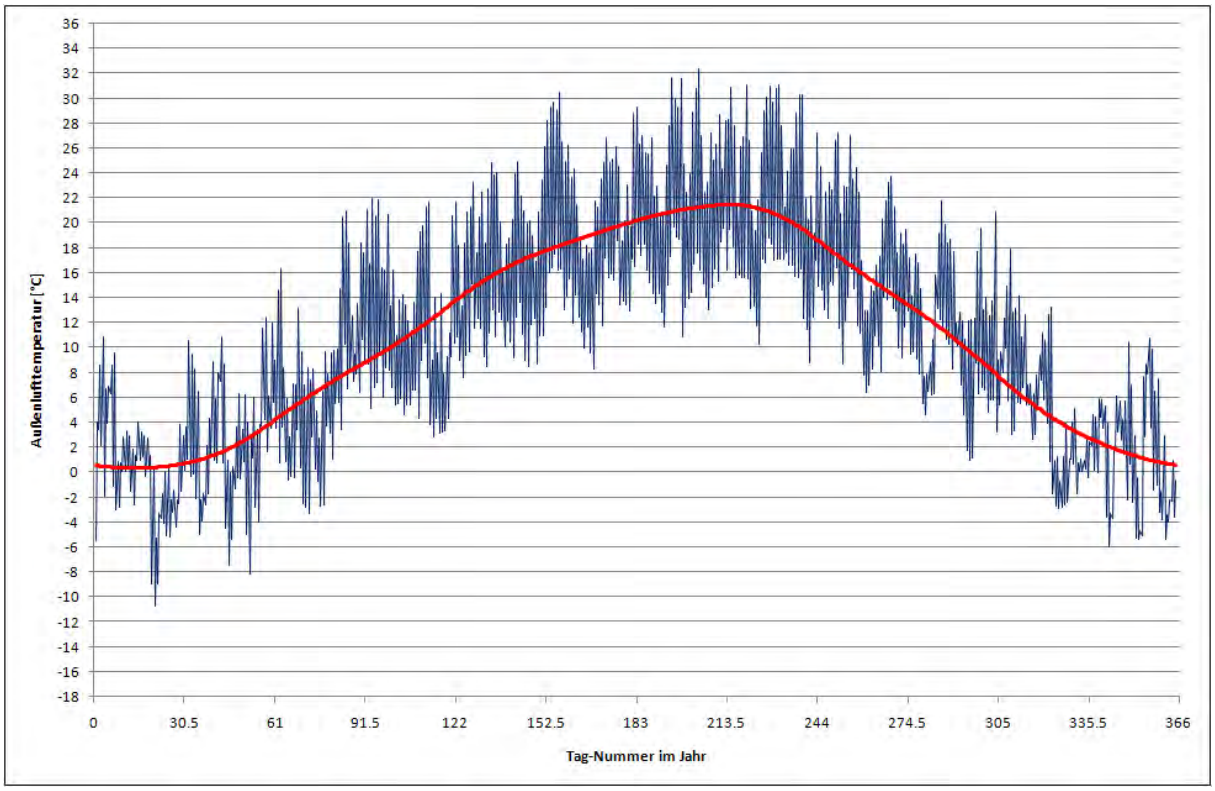
12.1.1.2. Überblick über die erzeugten halbsynthetischen Klimadaten

In den folgenden Abbildungen sind die Jahresverläufe der erzeugten halbsynthetischen Klimadatensätze für Wien grafisch dargestellt. Gezeigt werden die täglichen Maximal- und Minimalwerte der für die jeweilige Datenart erzeugten Stundenwerte. Zudem wird ein geglätteter Jahresverlauf dargestellt, der die Monatsmittelwerte des halbsynthetischen Jahrs genau einhält (Kontinuisierung gemäß [8]).

[24] Langjährige Monatsmittelwerte der Globalstrahlung, geliefert von der ZAMG [6]
[25] Langjährige Monatsmittelwerte der Himmelsstrahlung, geliefert von der ZAMG [7]

[26] Langjährige Monatsmittelwerte des Luftdrucks, geliefert von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Hohe Warte (ZAMG) [5]
[27] Langjährige Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit, geliefert von der ZAMG [5]

Außenlufttemperatur

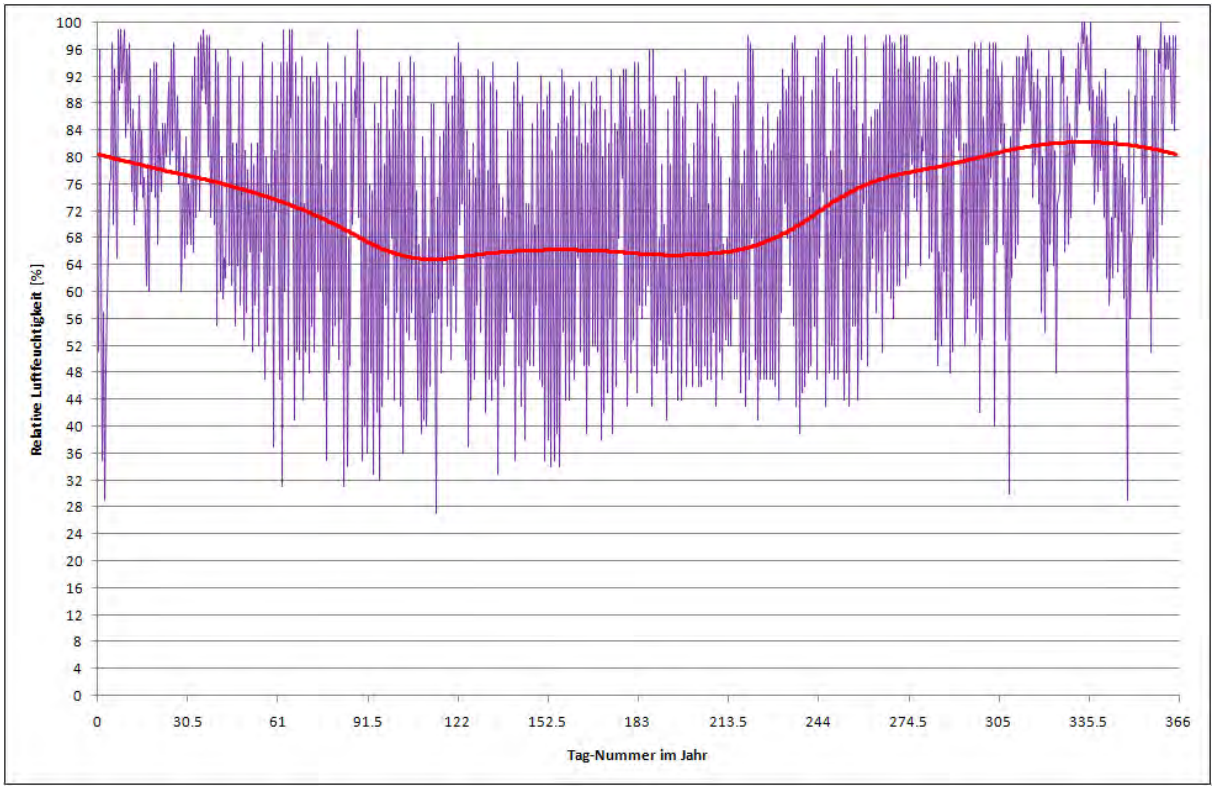


Monatsmittelwerte [°C]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0.45	2.01	6.36	10.88	15.82	18.9	20.91	20.67	16.19	10.99	5.20	1.56

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,01 K

Relative Feuchtigkeit der Außenluft

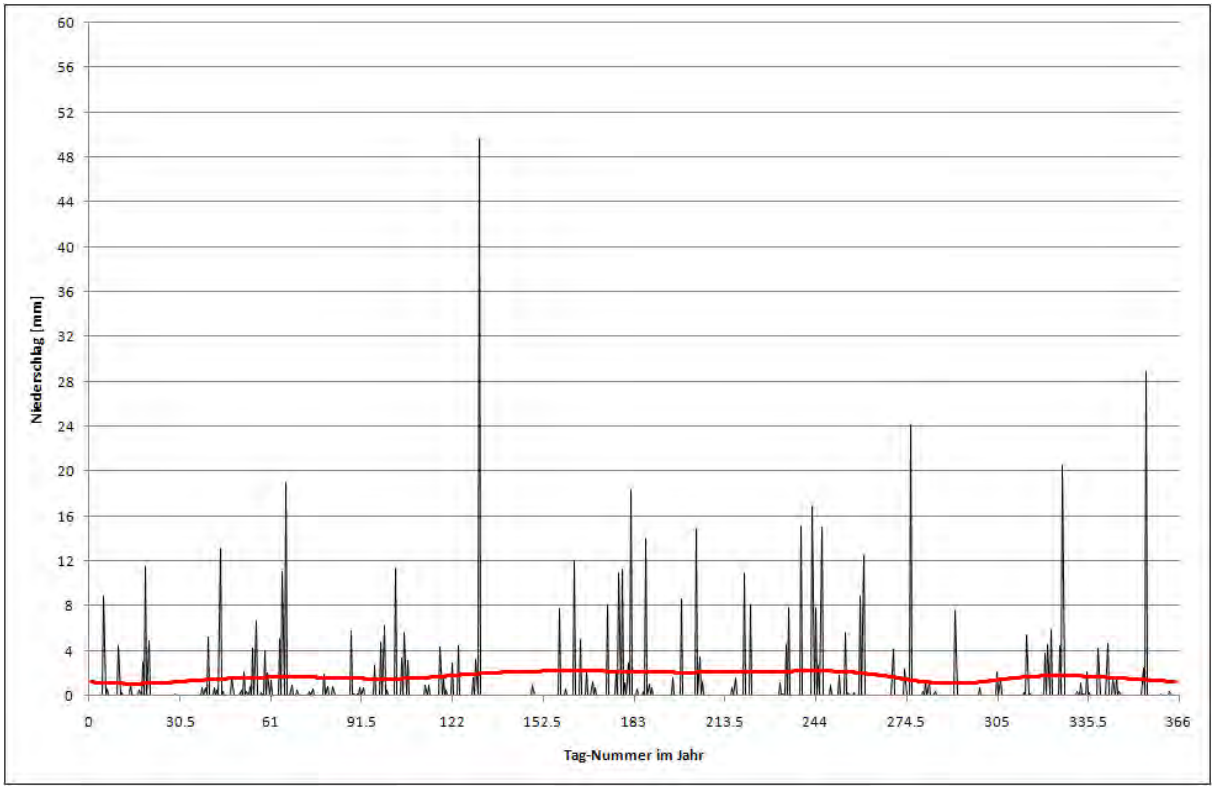


Monatsmittelwerte [%]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
78.79	75.67	71.10	65.61	65.76	66.10	65.58	68.03	75.20	79.01	81.69	81.63

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,1 %

Niederschlag

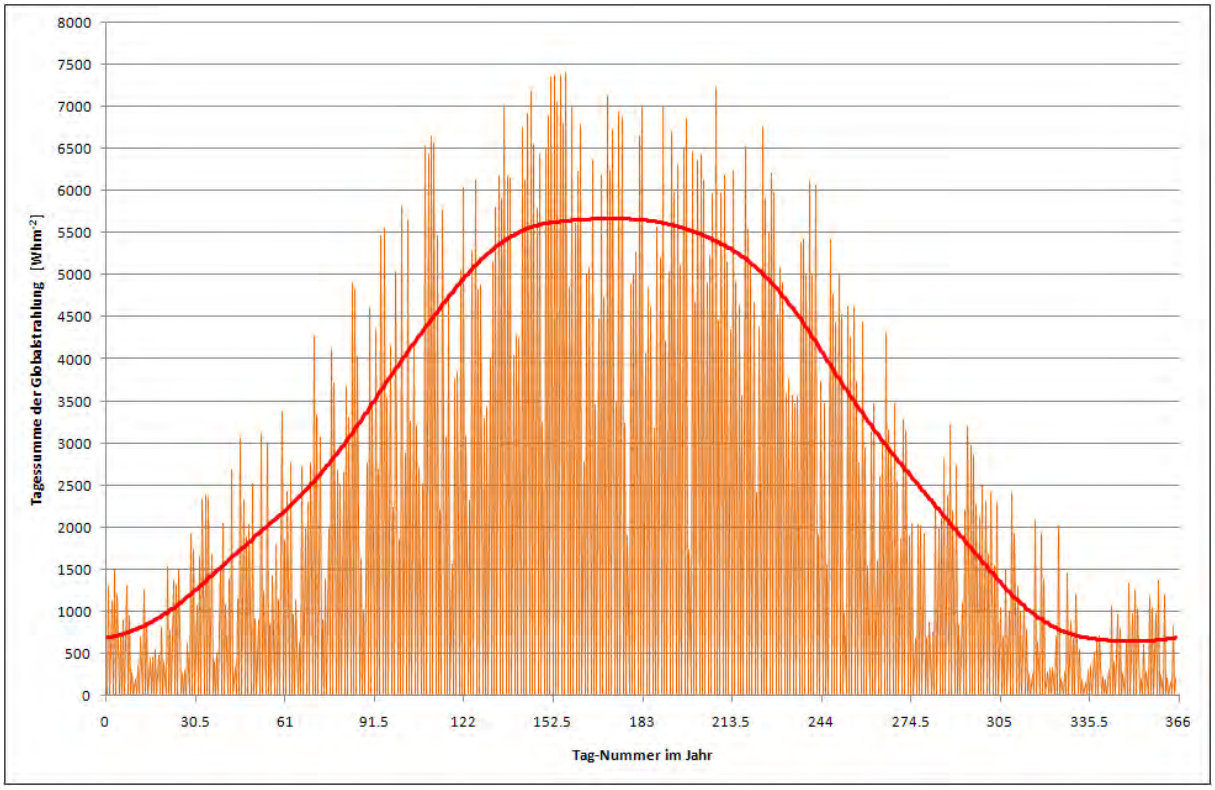


Monatssummen [mm]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
35.65	42.00	50.53	47.10	62.93	66.00	65.10	66.96	60.00	38.13	50.70	47.12

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,75 mm

Globalstrahlung auf die horizontale Fläche

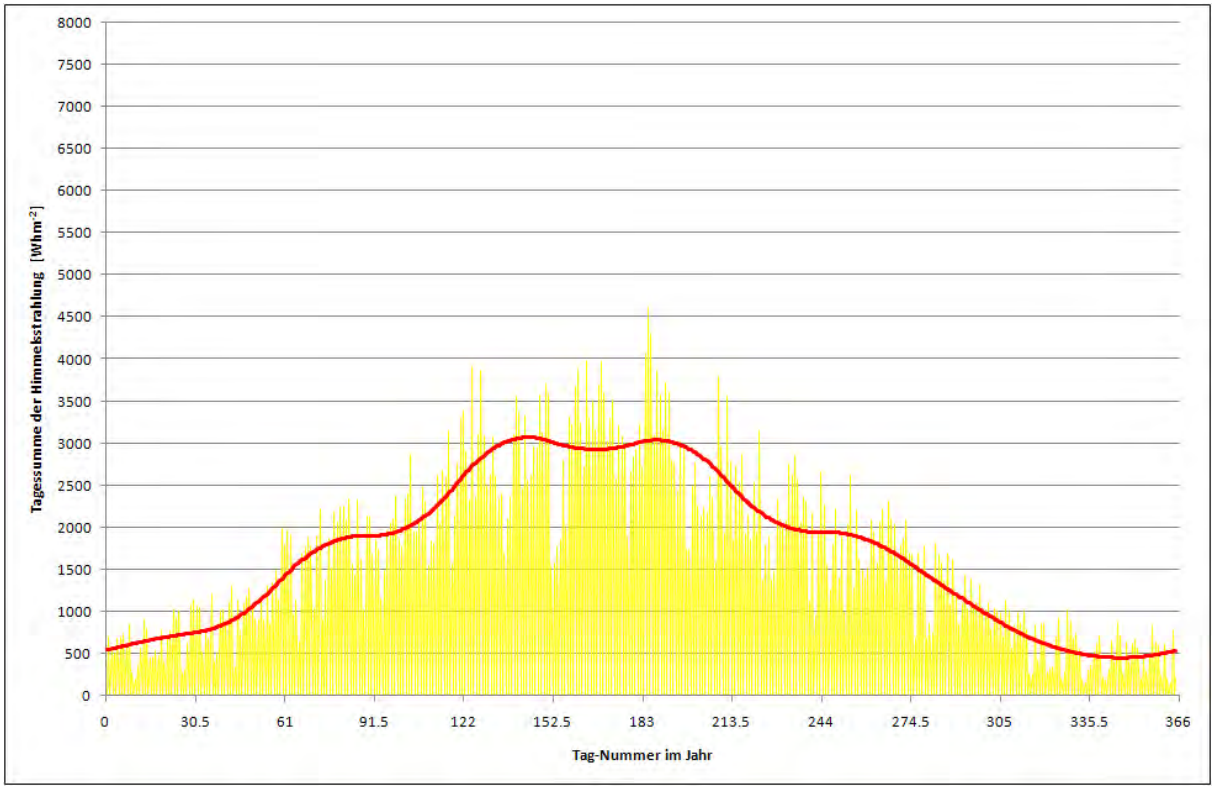


Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
909.41	1705.56	2721.33	4173.7	5345.34	5655.93	5540.23	4842.11	3380.00	2030.73	953.33	661.83

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 1,63 Whm^{-2}

Diffuse Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche (Himmelsstrahlung)

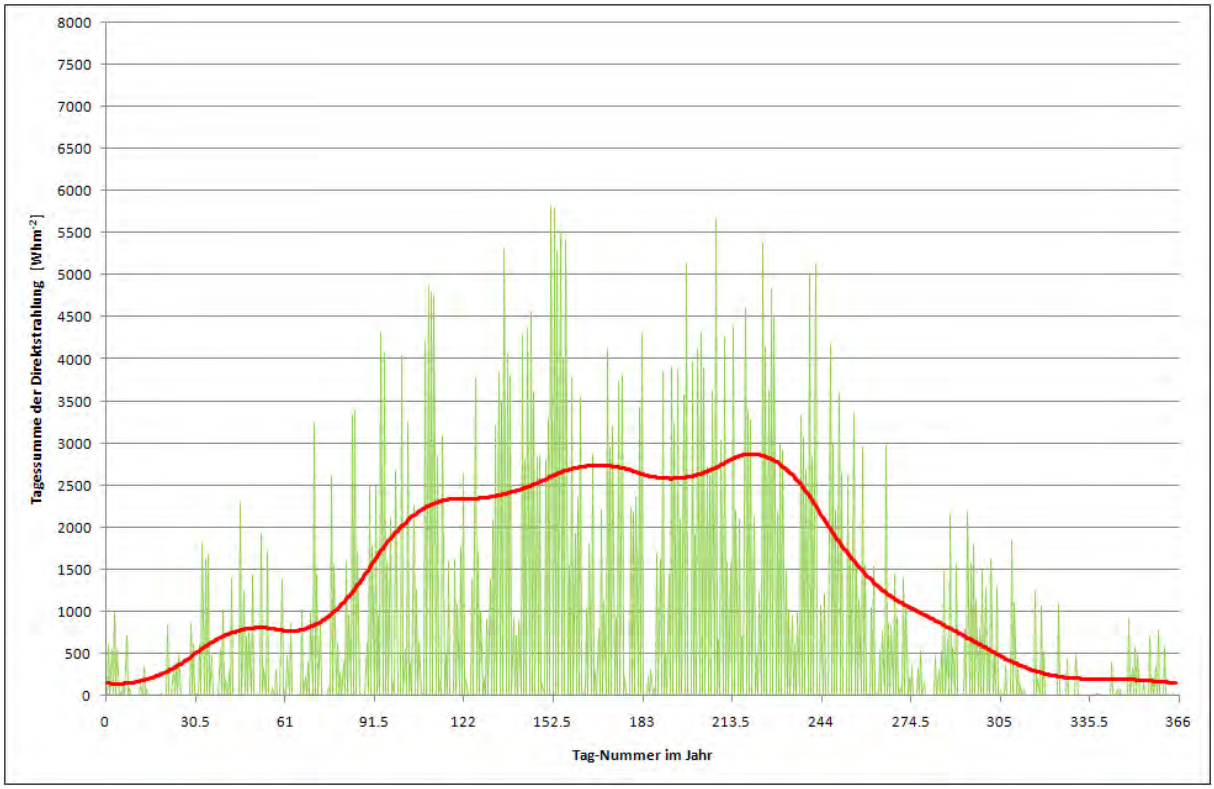


Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
657.89	975.40	1731.90	2102.50	2928.41	2957.22	2906.90	2139.34	1840.83	1241.76	654.17	474.37

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,84 Whm^{-2}

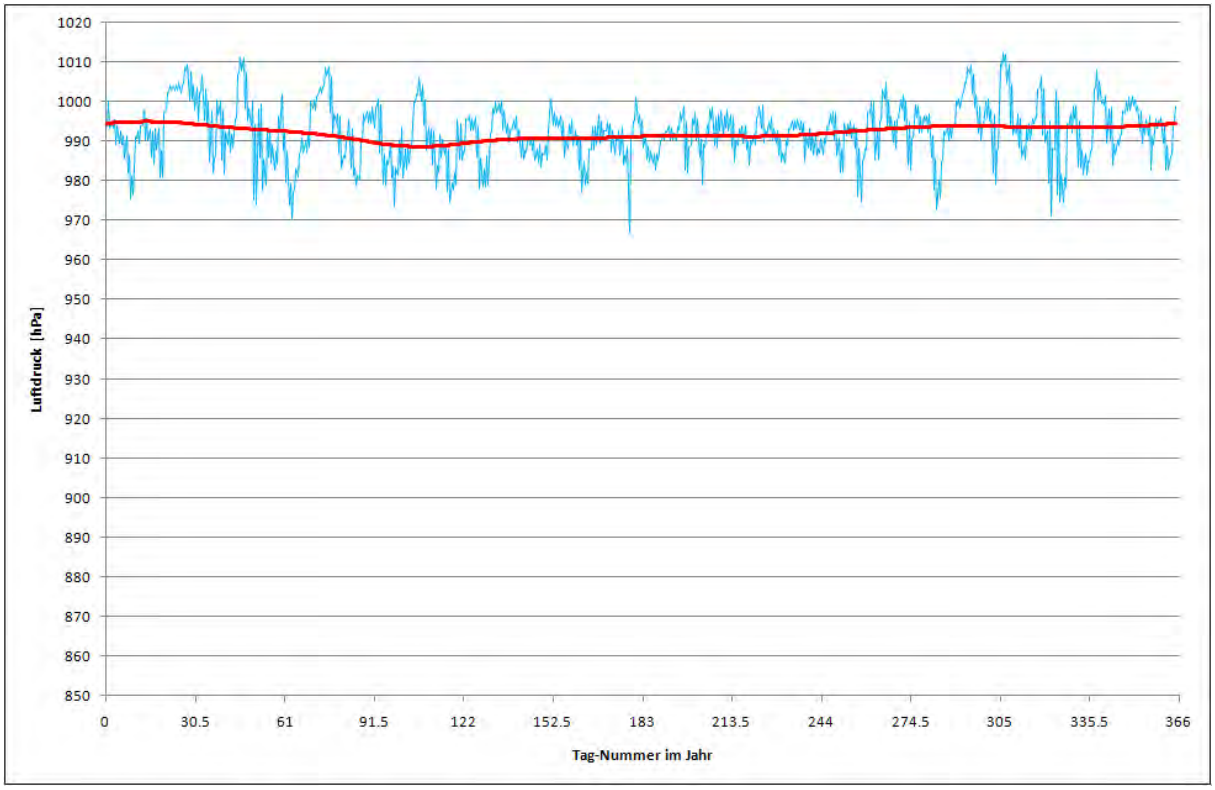
Direkte Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche



Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
251.52	730.16	989.43	2071.20	2416.94	2698.70	2633.33	2702.78	1539.17	788.98	299.17	187.46

Luftdruck

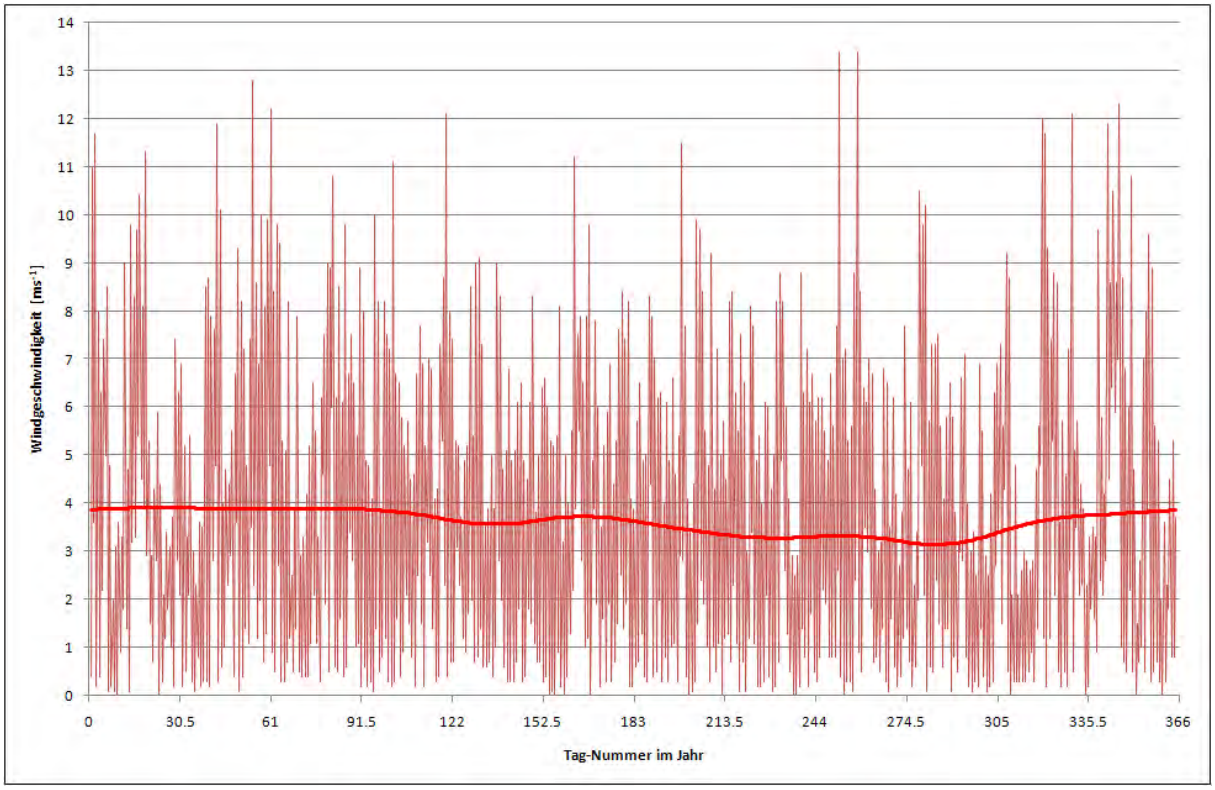


Monatsmittelwerte [hPa]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
994.80	993.40	991.51	989.00	990.30	990.90	991.40	991.40	992.70	993.80	993.60	993.89

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,01 hPa

Windgeschwindigkeit



Monatsmittelwerte [ms^{-1}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3.9	3.9	3.9	3.8	3.6	3.7	3.5	3.3	3.3	3.2	3.6	3.8

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,0 ms^{-1}

12.1.2. Standort: Innsbruck

Im Folgenden sind sowohl die zur Erzeugung der HSKD heran gezogenen Monatsmittelwerte als auch die Jahresverläufe der generierten HSKD für jede Datenart dokumentiert.

12.1.2.1. Datengrundlagen

Der Erstellung von halbsynthetischen Klimadatensätzen (HSKD) liegen Monatsmittelwerte der benötigten meteorologischen Daten zugrunde. Im Fall des hier vorliegenden Klimadatensatzes sind dies die für den langjährigen Schnitt für die Messstation Innsbruck, Universität, repräsentativen Mittelwerte.

Der Erzeugung des Satzes halbsynthetischer Klimadaten wurden folgende Eingabedaten zugrunde gelegt:

Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur [°C]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
-0.39	1.77	6.52	10.11	14.96	17.74	19.65	19.18	15.50	11.03	4.46	0.58	UPTEMP[28]

Innsbruck, Universität; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit der Außenluft [%]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
79.7	76.0	70.6	66.0	65.2	68.1	69.2	72.9	76.2	77.8	80.9	82.5	ZAMG[29]

Innsbruck, Universität; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatssumme des Niederschlags [mm]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
42.2	39.5	57.1	57.0	83.0	111.9	127.0	122.6	79.7	58.8	60.7	46.6	ZAMG[30]

Innsbruck, Universität; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
1300.0	2108.4	3128.3	4192.2	5082.7	5057.0	5152.9	4534.8	3555.4	2406.6	1397.2	993.5	ZAMG[31]

Innsbruck, Universität; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Mittlere monatliche Tagessummen der Himmelsstrahlung auf die horizontale Fläche [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
787.1	1150.0	1941.9	2286.7	2796.8	2976.7	2674.2	2461.3	1976.7	1374.2	900.0	564.5	ZAMG[32]

Innsbruck, Universität; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

[28] UPTEMP, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken aus Tagesmittelwerten meteorologischer Messstationen [4]
[29] Langjährige Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit der Außenluft, geliefert von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Hohe Warte (ZAMG) [5]
[30] Langjährige Monatssummen des Niederschlags, geliefert von der ZAMG [5]
[31] Langjährige Monatsmittelwerte der Globalstrahlung, geliefert von der ZAMG [6]
[32] Langjährige Monatsmittelwerte der Himmelsstrahlung, geliefert von der ZAMG [7]

Monatsmittelwerte des Luftdrucks [hPa]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
949.0	947.3	946.0	943.8	945.4	947.2	947.9	947.8	948.4	948.0	948.1	948.0	ZAMG[33]

Innsbruck, Universität; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit [ms^{-1}]

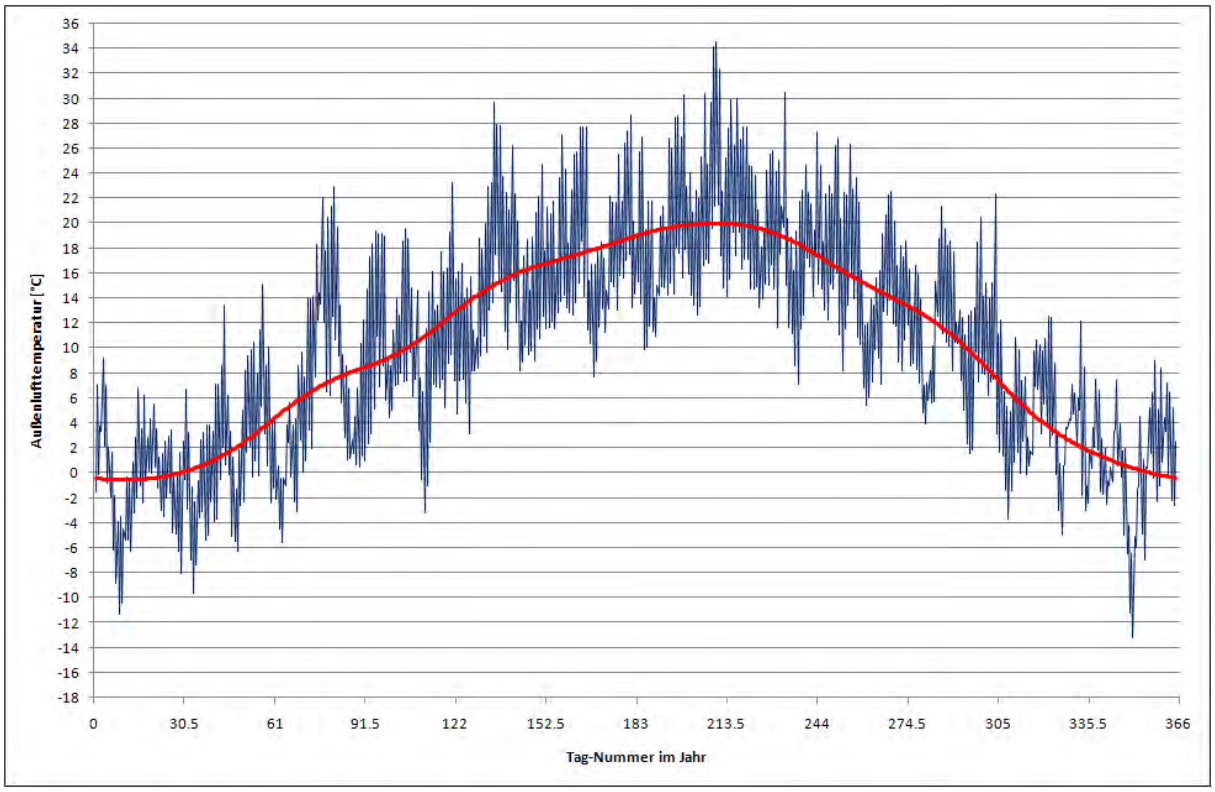
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
1.7	1.8	2.2	2.5	2.6	2.2	2.2	1.9	1.7	1.8	1.7	1.6	ZAMG[34]

Innsbruck, Universität; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

12.1.2.2. Überblick über die erzeugten halbsynthetischen Klimadaten

In den folgenden Abbildungen sind die Jahresverläufe der erzeugten halbsynthetischen Klimadatensätze für Innsbruck grafisch dargestellt. Gezeigt werden die täglichen Maximal- und Minimalwerte der für die jeweilige Datenart erzeugten Stundenwerte. Zudem wird ein geglätteter Jahresverlauf dargestellt, der die Monatsmittelwerte des halbsynthetischen Jahrs genau einhält (Kontinuisierung gemäß [8]).

Außenlufttemperatur



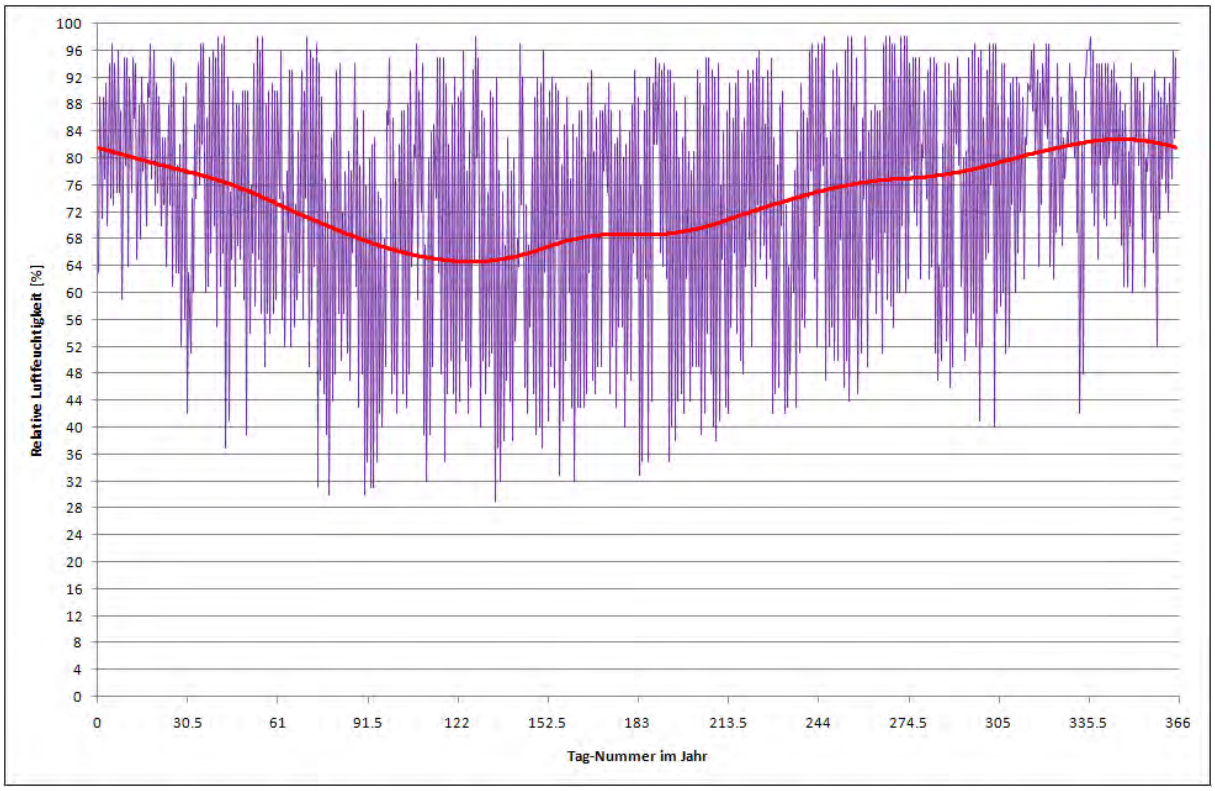
[33] Langjährige Monatsmittelwerte des Luftdrucks, geliefert von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Hohe Warte (ZAMG) [5]
[34] Langjährige Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit, geliefert von der ZAMG [5]

Monatsmittelwerte [°C]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
-0.39	1.77	6.52	10.11	14.96	17.74	19.65	19.18	15.50	11.03	4.46	0.58

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,00 K

Relative Feuchtigkeit der Außenluft

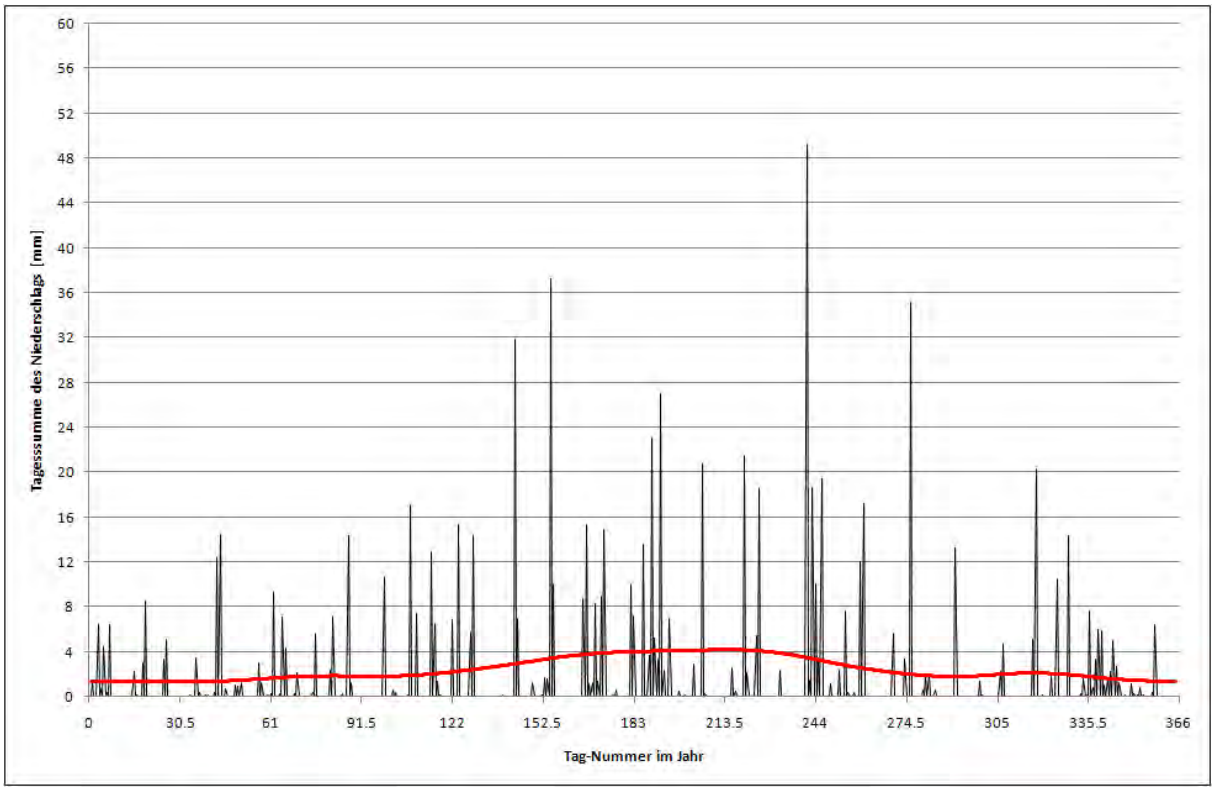


Monatsmittelwerte [%]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
79.72	76.00	70.60	65.99	65.17	68.13	69.21	72.89	76.19	77.84	80.89	82.50

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,04 %

Niederschlag

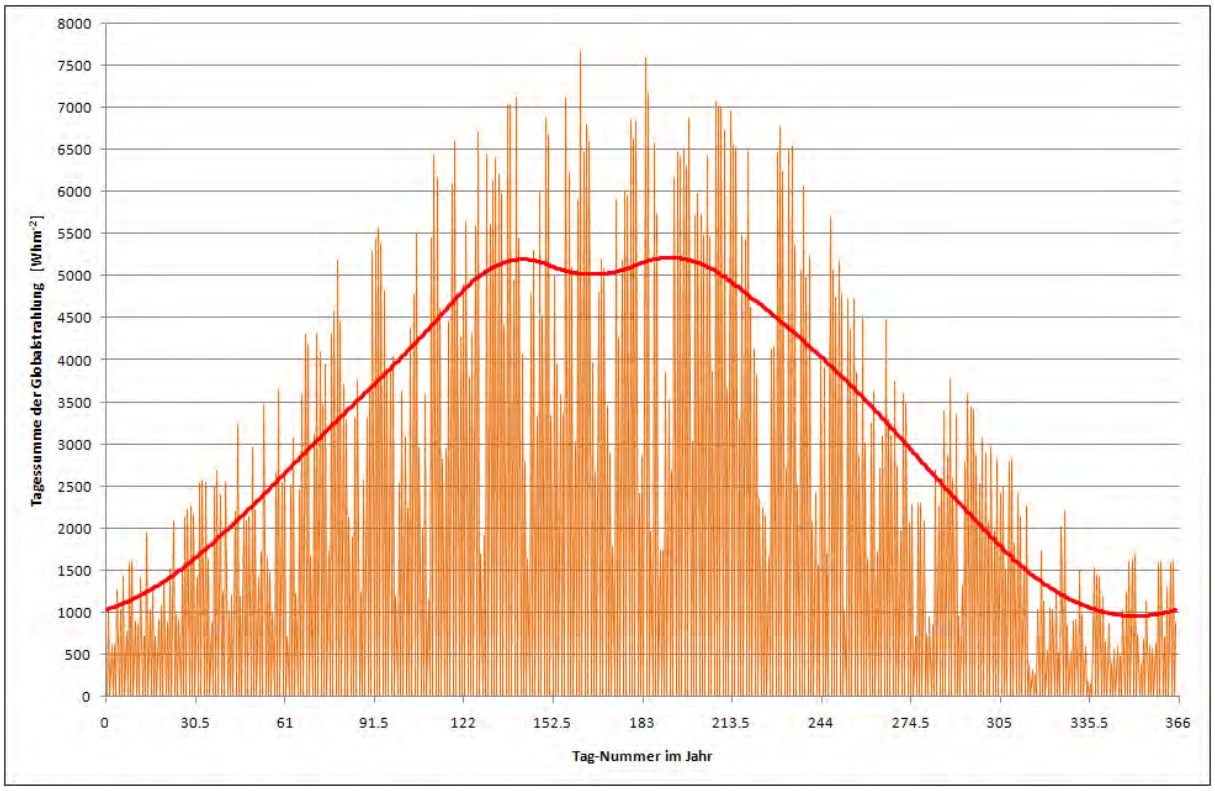


Monatssummen [mm]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
42.16	40.04	55.8	57.3	82.77	111.9	127.41	122.45	79.8	58.59	61.2	47.74

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 1.30 mm

Globalstrahlung auf die horizontale Fläche

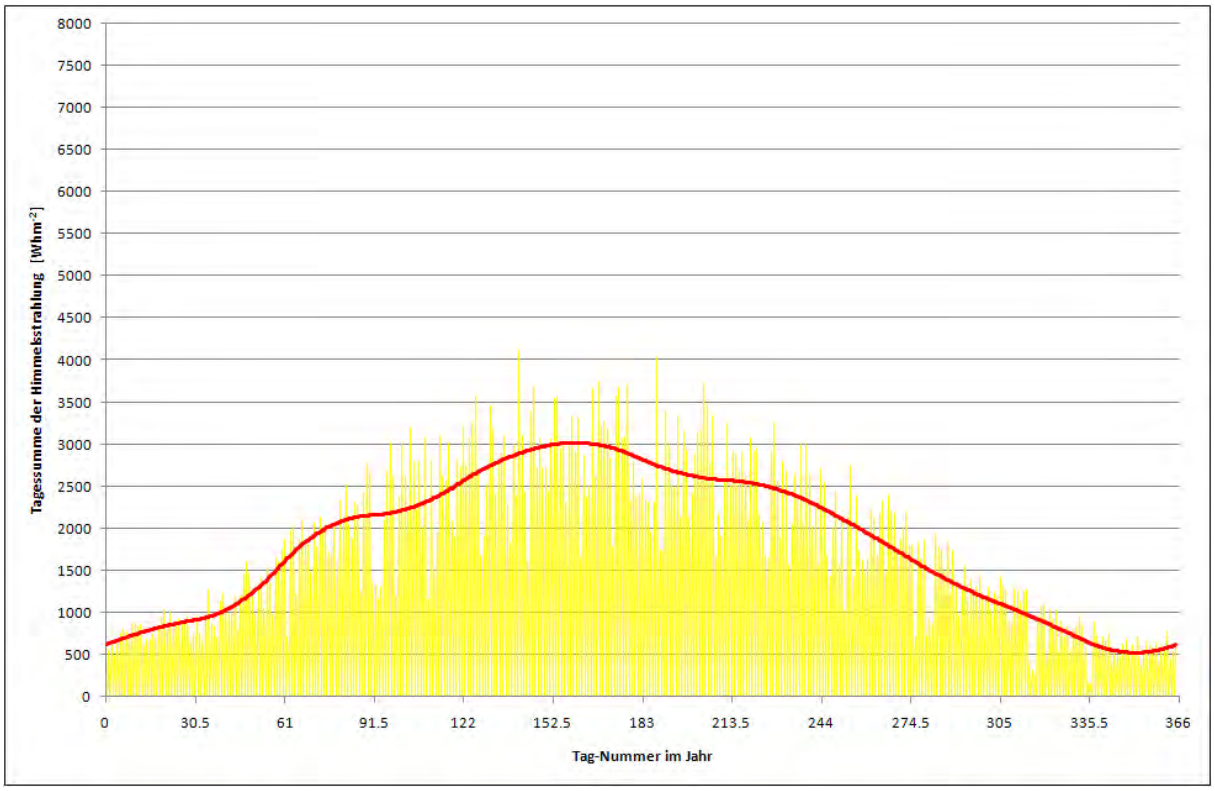


Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1300.72	2108.33	3128.32	4191.94	5084.59	5055.83	5153.32	4531.99	3554.81	2406.63	1398.24	992.92

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 2,78 Whm^{-2}

Diffuse Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche (Himmelsstrahlung)

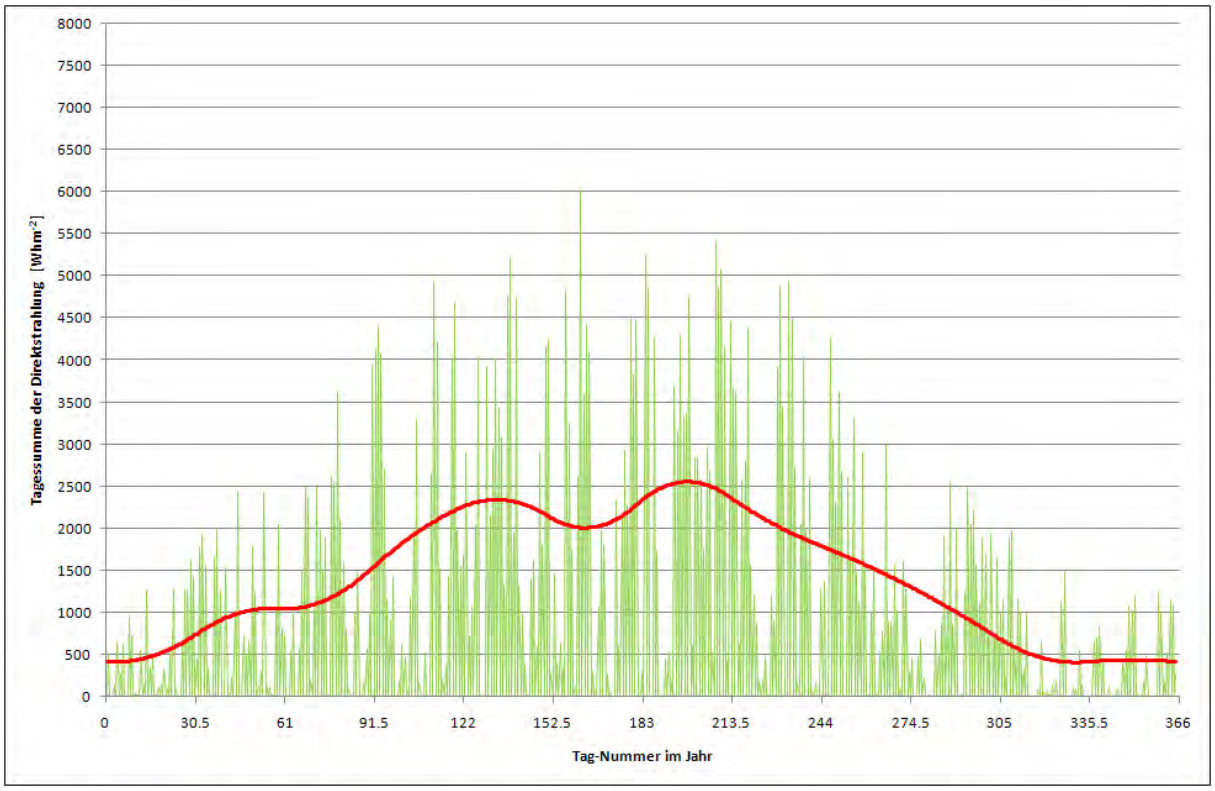


Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
787.46	1150.1	1942.11	2285.74	2796.77	2975.93	2673.92	2460.57	1975.74	1374.46	900.37	564.07

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,93 Whm^{-2}

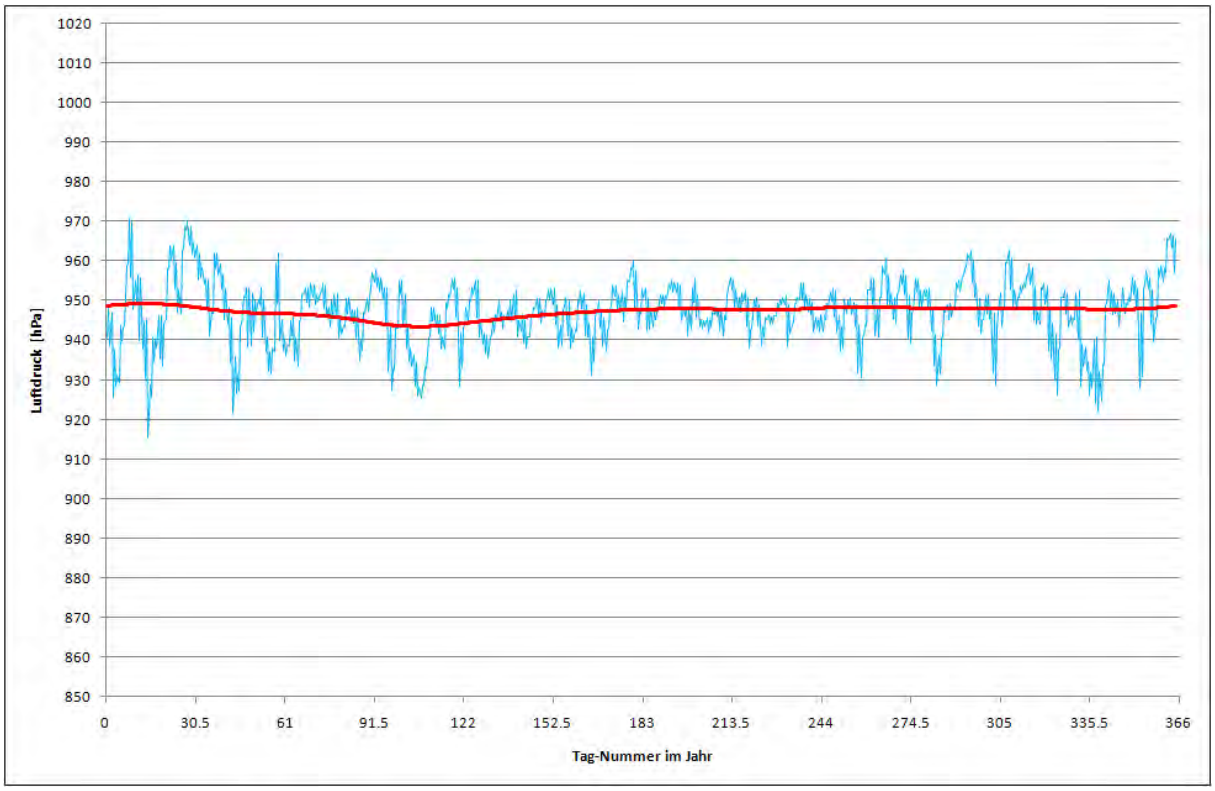
Direkte Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche



Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
513.26	958.23	1186.2	1906.2	2287.81	2079.91	2479.39	2071.42	1579.07	1032.17	497.87	428.85

Luftdruck

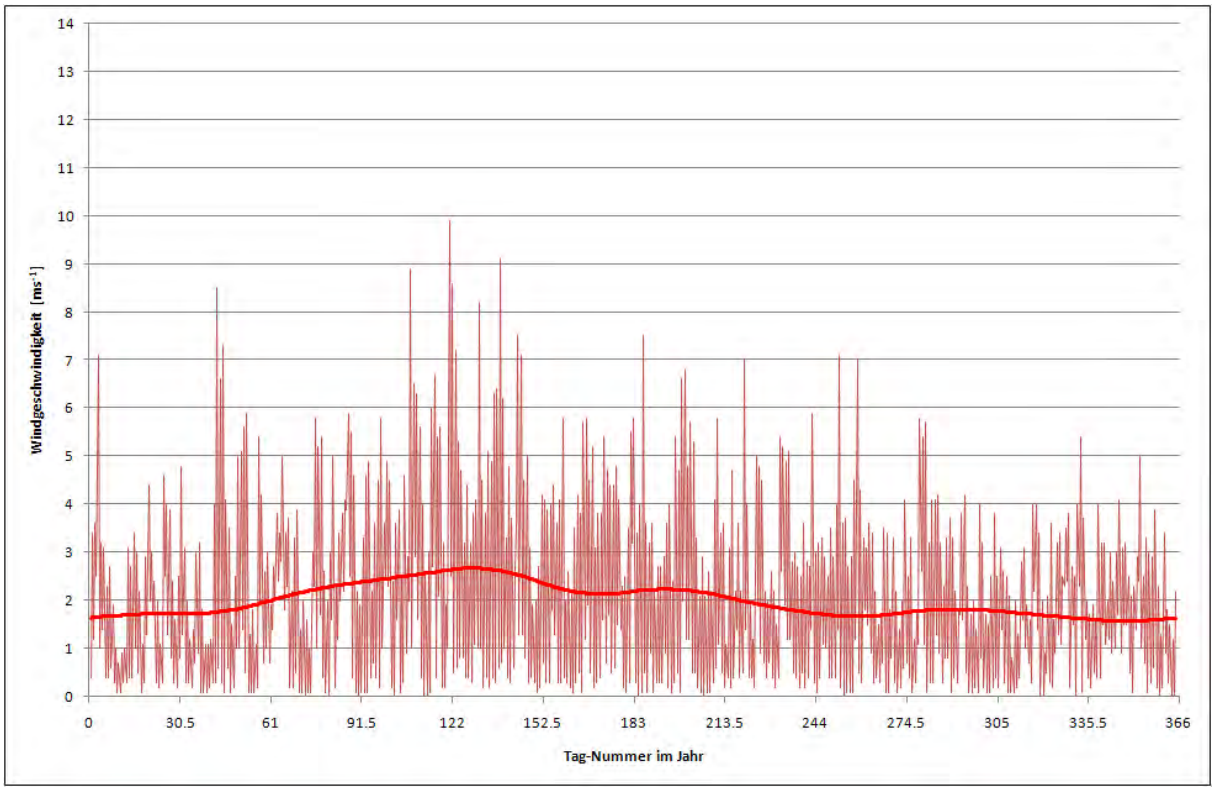


Monatsmittelwerte [hPa]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
949.0	947.3	946.0	943.8	945.4	947.2	947.9	947.8	948.4	948.0	948.1	948.0

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,00 hPa

Windgeschwindigkeit



Monatsmittelwerte [ms^{-1}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1.7	1.8	2.2	2.5	2.6	2.2	2.2	1.9	1.7	1.8	1.7	1.6

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,0 ms^{-1}

12.1.3. Standort: Klagenfurt

Im Folgenden sind sowohl die zur Erzeugung der HSKD heran gezogenen Monatsmittelwerte als auch die Jahresverläufe der generierten HSKD für jede Datenart dokumentiert.

12.1.3.1. Datengrundlagen

Der Erstellung von halbsynthetischen Klimadatensätzen (HSKD) liegen Monatsmittelwerte der benötigten meteorologischen Daten zugrunde. Im Fall des hier vorliegenden Klimadatensatzes sind dies die für den langjährigen Schnitt für die Messstation Klagenfurt, Flughafen, repräsentativen Mittelwerte.

Der Erzeugung des Satzes halbsynthetischer Klimadaten wurden folgende Eingabedaten zugrunde gelegt:

Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur [°C]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle

-3.54	-0.58	4.74	9.23	14.37	17.84	19.66	19.21	15.01	9.76	2.79	-2.01	UPTEMP[35]

Klagenfurt, Flughafen; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit der Außenluft [%]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
87.5	81.4	75.5	70.5	68.3	68.1	69.7	73.6	79.4	84.2	87.6	89.4	ZAMG[36]

Klagenfurt, Flughafen; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatssumme des Niederschlags [mm]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
29.7	29.5	49.6	63.3	79.3	107.0	117.0	118.2	87.1	83.6	74.3	48.4	ZAMG[37]

Klagenfurt, Flughafen; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
1302.3	2314.5	3350.5	4286.3	5336.2	5746.8	5758.6	5027.4	3793.3	2254.0	1225.0	925.1	ZAMG[38]

Klagenfurt, Flughafen; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Mittlere monatliche Tagessummen der Himmelsstrahlung auf die horizontale Fläche [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
838.7	1060.7	1612.9	2566.7	2548.4	3113.3	2767.7	2645.2	2016.7	1380.6	800.0	648.4	ZAMG[39]

Klagenfurt, Flughafen; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

[35] UPTEMP, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken aus Tagesmittelwerten meteorologischer Messstationen [4]
[36] Langjährige Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit der Außenluft, geliefert von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Hohe Warte (ZAMG) [5]
[37] Langjährige Monatssummen des Niederschlags, geliefert von der ZAMG [5]
[38] Langjährige Monatsmittelwerte der Globalstrahlung, geliefert von der ZAMG [6]
[39] Langjährige Monatsmittelwerte der Himmelsstrahlung, geliefert von der ZAMG [7]

Monatsmittelwerte des Luftdrucks [hPa]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
966.2	964.2	962.5	960.2	961.7	962.5	963.1	963.1	964.4	965.3	965.2	965.5	ZAMG[40]

Klagenfurt, Flughafen; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit [ms^{-1}]

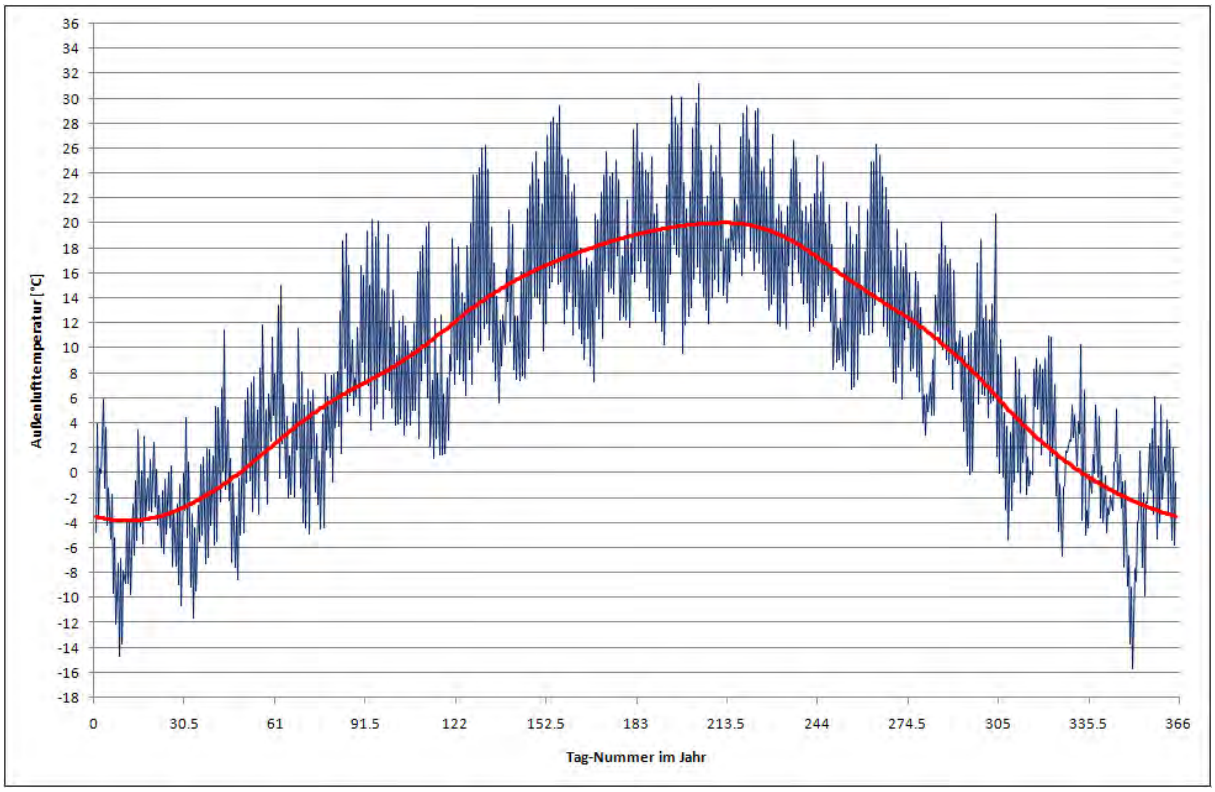
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
1.3	1.5	1.9	2.2	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	ZAMG[41]

Klagenfurt, Flughafen; für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

12.1.3.2. Überblick über die erzeugten halbsynthetischen Klimadaten

In den folgenden Abbildungen sind die Jahresverläufe der erzeugten halbsynthetischen Klimadatensätze für Klagenfurt grafisch dargestellt. Gezeigt werden die täglichen Maximal- und Minimalwerte der für die jeweilige Datenart erzeugten Stundenwerte. Zudem wird ein geglätteter Jahresverlauf dargestellt, der die Monatsmittelwerte des halbsynthetischen Jahrs genau einhält (Kontinuisierung gemäß [8]).

Außenlufttemperatur



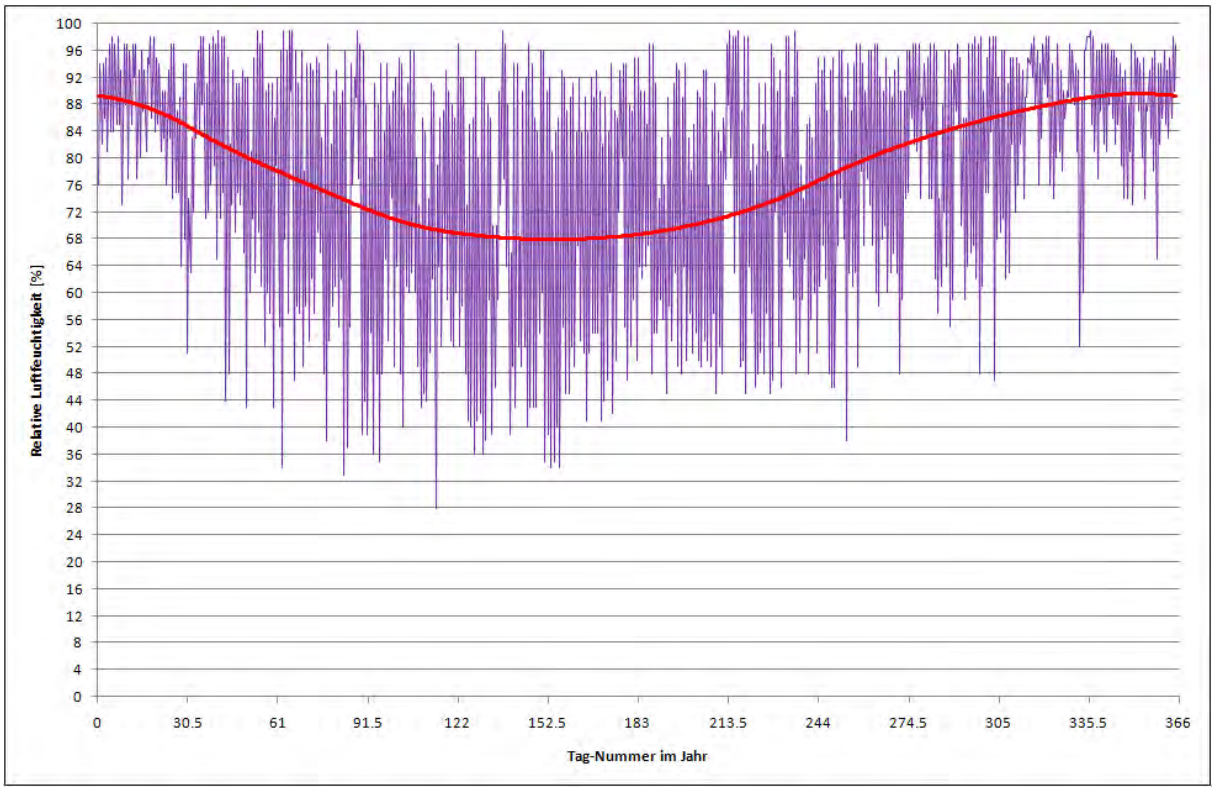
[40] Langjährige Monatsmittelwerte des Luftdrucks, geliefert von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Hohe Warte (ZAMG) [5]
[41] Langjährige Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit, geliefert von der ZAMG [5]

Monatsmittelwerte [°C]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
-3.54	-0.58	4.74	9.23	14.38	17.84	19.66	19.21	15.00	9.76	2.79	-2.01

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,01 K

Relative Feuchtigkeit der Außenluft

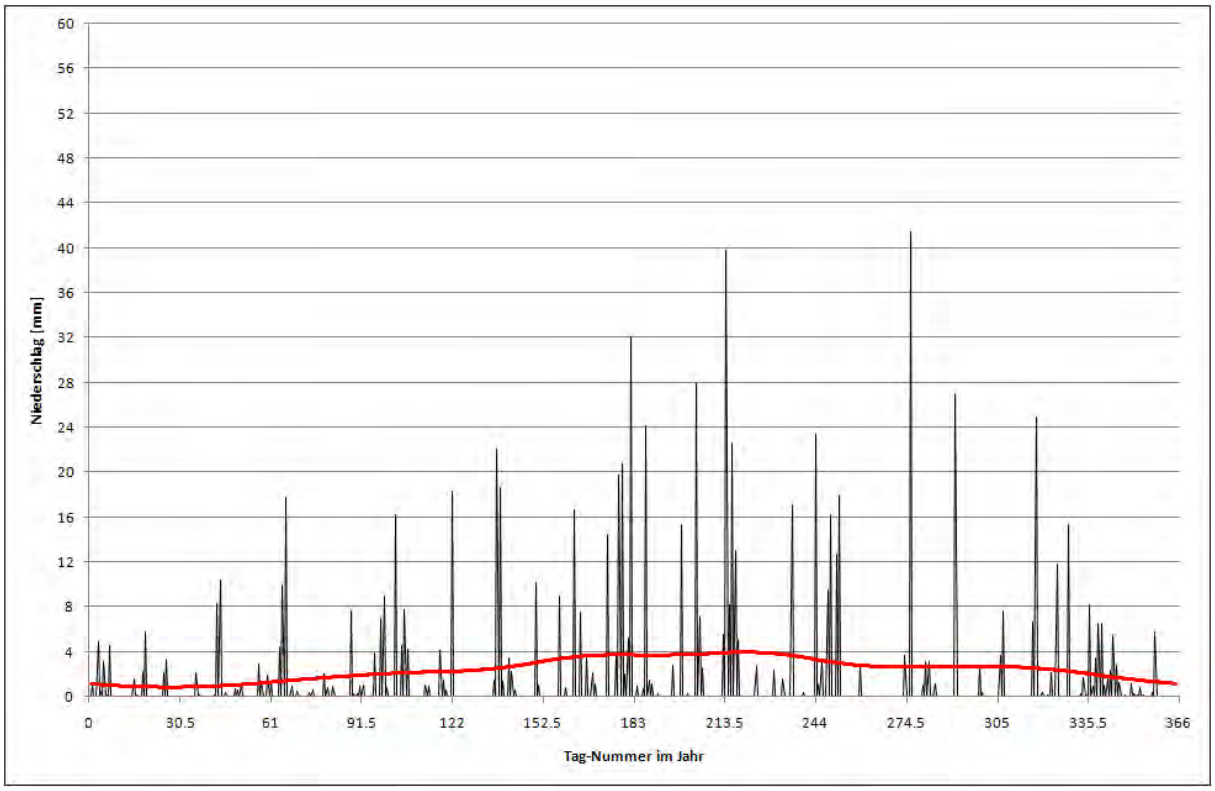


Monatsmittelwerte [%]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
87.48	81.41	75.52	70.50	68.32	68.13	69.72	73.60	79.41	84.20	87.62	89.4

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,03 %

Niederschlag

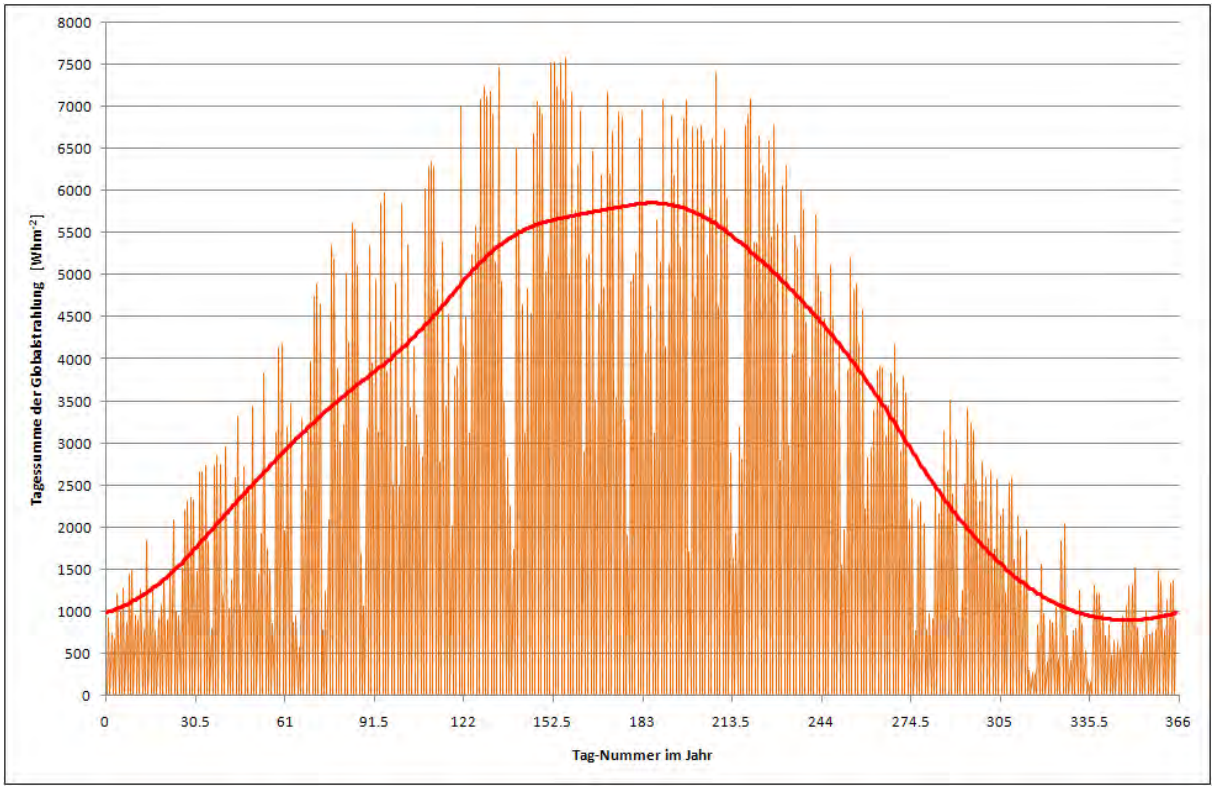


Monatssummen [mm]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
29.76	28.56	49.60	63.30	79.36	106.80	116.87	118.42	87.00	83.70	74.70	49.60

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 1.20 mm

Globalstrahlung auf die horizontale Fläche

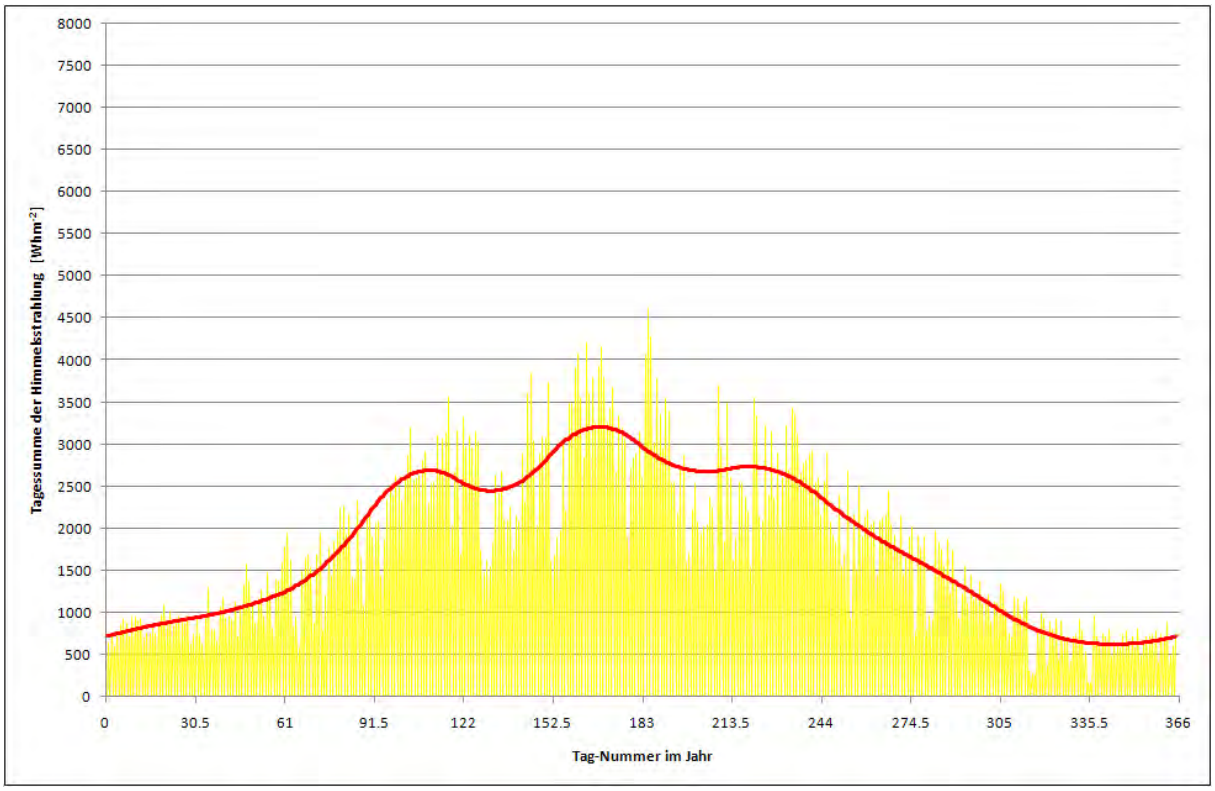


Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1302.78	2313.89	3350.27	4285.28	5336.11	5746.85	5759.68	5026.70	3792.69	2253.05	1224.17	925.00

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 1,03 Whm^{-2}

Diffuse Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche (Himmelsstrahlung)

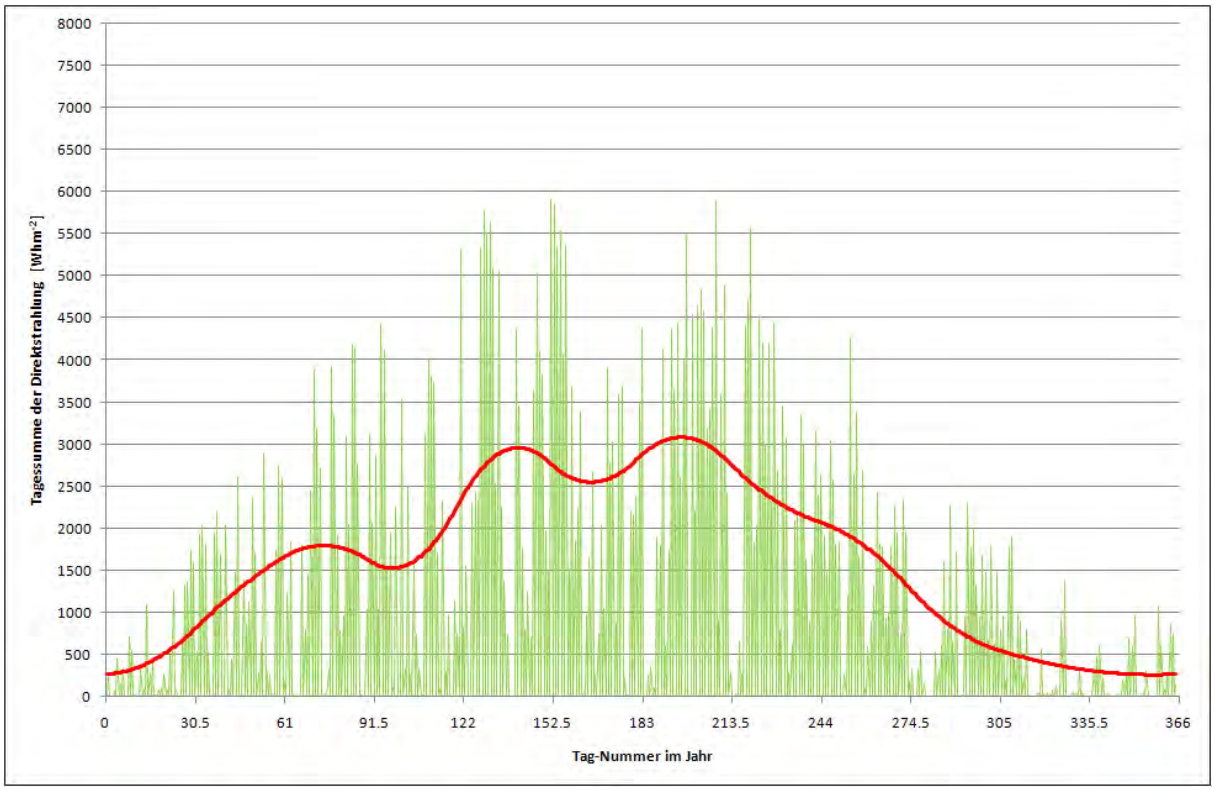


Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
839.25	1060.22	1612.90	2565.74	2548.30	3111.85	2767.20	2645.07	2016.02	1379.66	799.35	648.12

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 1,48 Whm^{-2}

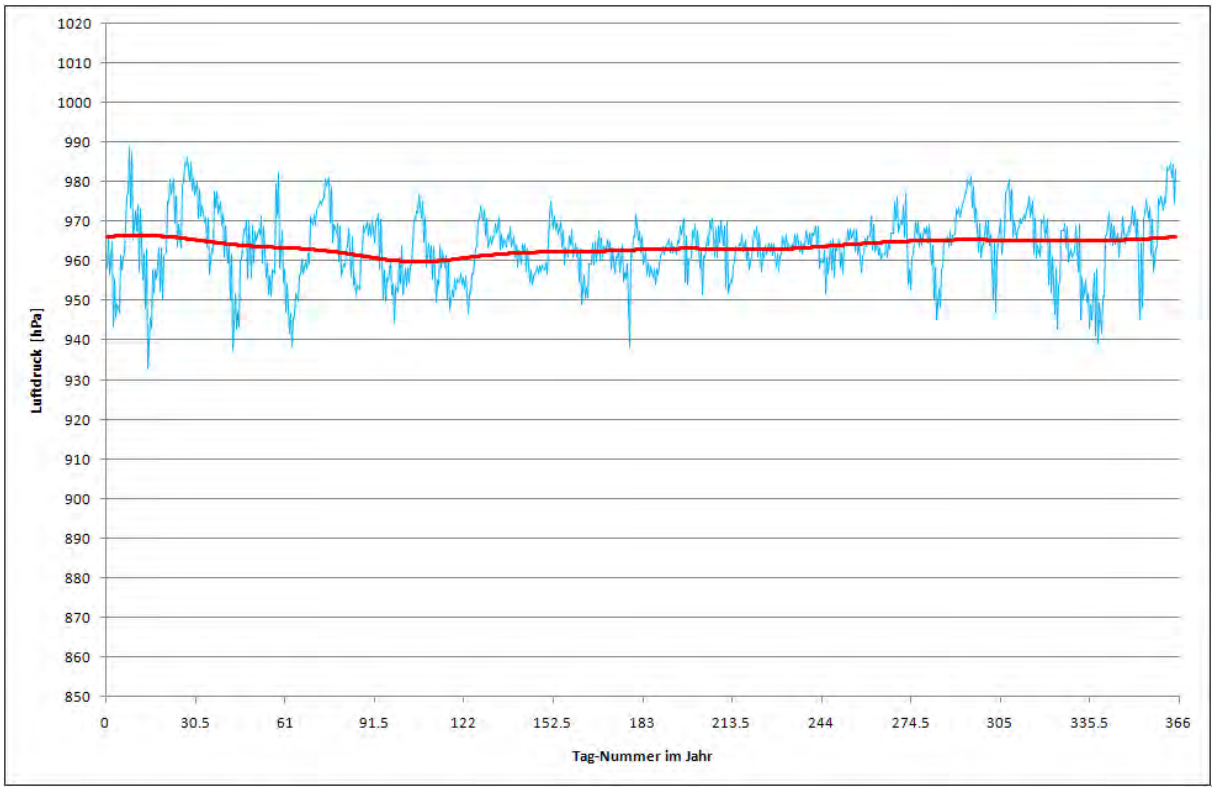
Direkte Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche



Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
463.53	1253.67	1737.37	1719.54	2787.81	2635.00	2992.47	2381.63	1776.67	873.39	424.81	276.88

Luftdruck

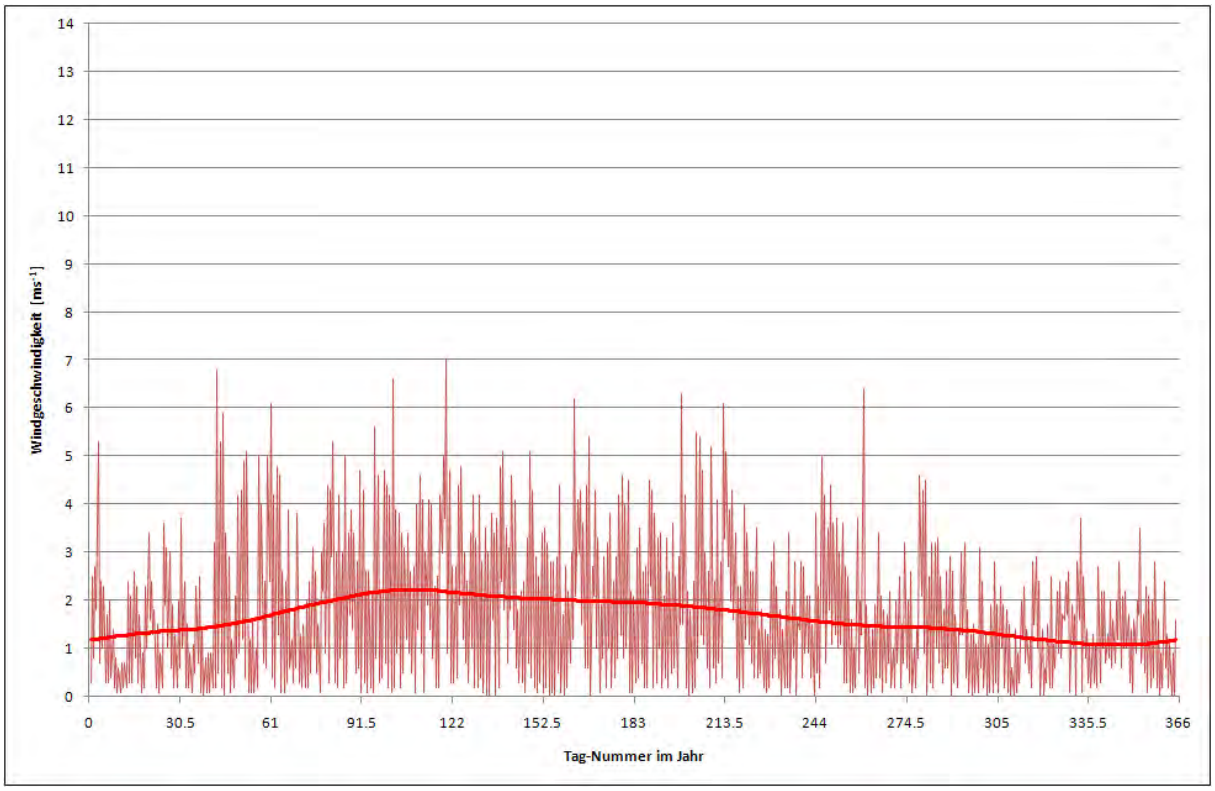


Monatsmittelwerte [hPa]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
966.2	964.2	962.5	960.2	961.7	962.5	963.1	963.1	964.4	965.3	965.2	965.5

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,00 hPa

Windgeschwindigkeit



Monatsmittelwerte [ms^{-1}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1.3	1.5	1.9	2.2	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,0 ms^{-1}

12.1.4. Standort: Mallnitz

Im Folgenden sind sowohl die zur Erzeugung der HSKD heran gezogenen Monatsmittelwerte als auch die Jahresverläufe der generierten HSKD für jede Datenart dokumentiert.

12.1.4.1. Datengrundlagen

Der Erstellung von halbsynthetischen Klimadatensätzen (HSKD) liegen Monatsmittelwerte der benötigten meteorologischen Daten zugrunde. Im Fall des hier vorliegenden Klimadatensatzes sind dies die für den langjährigen Schnitt für die Messstation Mallnitz, repräsentativen Mittelwerte.

Der Erzeugung des Satzes halbsynthetischer Klimadaten wurden folgende Eingabedaten zugrunde gelegt:

Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur [°C]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
-2.83	-1.80	1.64	5.16	9.90	13.22	15.20	14.77	11.21	6.76	1.44	-1.94	UPTEMP[42]

Mallnitz, für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit der Außenluft [%]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
77.5	74.7	73.8	72.8	74.3	73.9	74.7	79.2	81.0	83.6	80.6	79.3	ZAMG[43]

Mallnitz, für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatssumme des Niederschlags [mm]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
41.7	31.8	45.8	56.2	87.7	110.8	130.1	129.4	93.8	98.6	75.3	48.1	ZAMG[44]

Mallnitz, für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
1096.3	1860.8	2926.9	3841.2	4688.4	4680.8	4725.5	4095.0	3215.7	1896.5	1063.9	762.7	ZAMG[45]

Mallnitz, für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Mittlere monatliche Tagessummen der Himmelsstrahlung auf die horizontale Fläche [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
706.5	1153.6	1735.5	2510.0	2925.8	3006.7	2661.3	2580.6	2086.7	1264.5	776.7	596.8	ZAMG[46]

Mallnitz, für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

Monatsmittelwerte des Luftdrucks [hPa]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle

[42] UPTEMP, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken aus Tagesmittelwerten meteorologischer Messstationen [4]
[43] Langjährige Monatsmittelwerte der relativen Feuchtigkeit der Außenluft, geliefert von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Hohe Warte (ZAMG) [5]
[44] Langjährige Monatssummen des Niederschlags, geliefert von der ZAMG [5]
[45] Langjährige Monatsmittelwerte der Globalstrahlung, geliefert von der ZAMG [6]
[46] Langjährige Monatsmittelwerte der Himmelsstrahlung, geliefert von der ZAMG [7]

881.9	879.7	879.4	877.6	880.6	882.1	883.1	883.0	882.9	881.9	879.7	880.6	ZAMG[47]

Mallnitz, für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1987 bis 31. 12. 2007 (21 Jahre)

Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit [ms^{-1}]

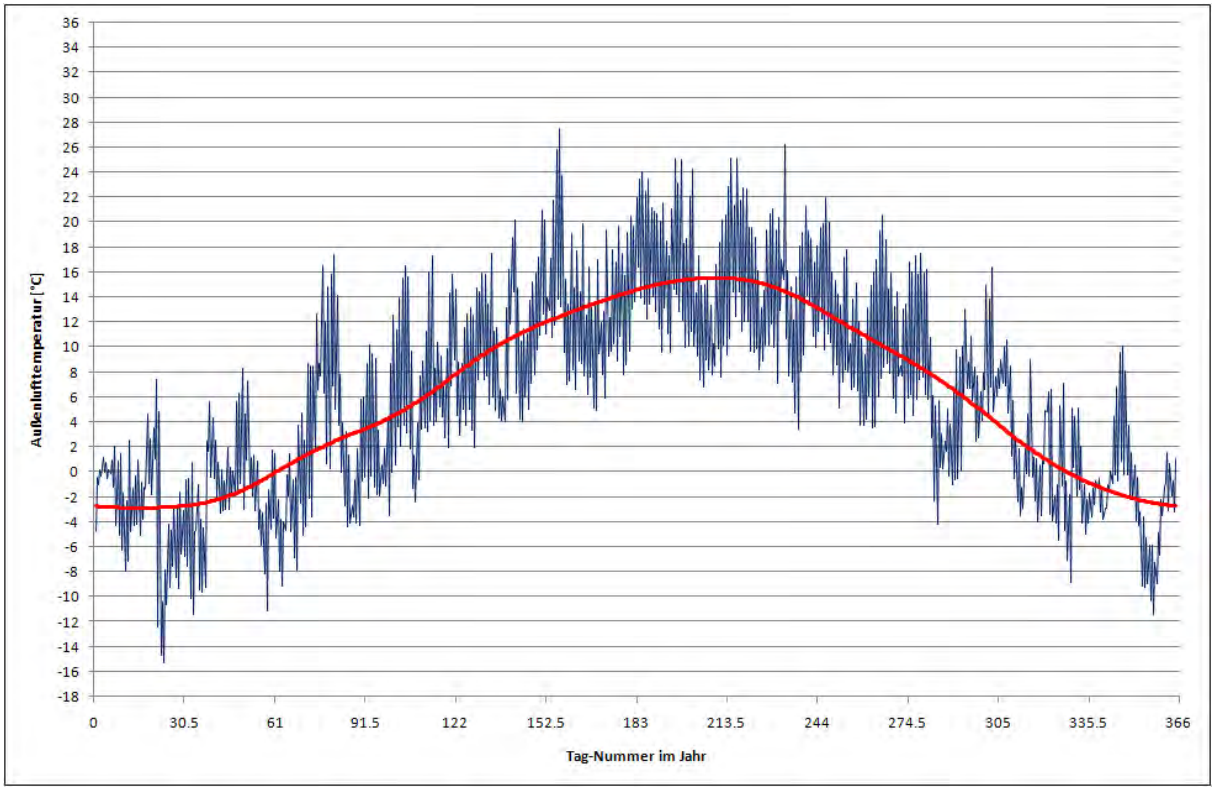
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Quelle
1.8	1.8	1.9	2.0	1.7	1.6	1.6	1.4	1.5	1.4	1.6	1.7	ZAMG[48]

Mallnitz, für die Mittelung verwendetes Zeitintervall: 1. 1. 1978 bis 31. 12. 2007 (30 Jahre)

12.1.4.2. Überblick über die erzeugten halbsynthetischen Klimadaten

In den folgenden Abbildungen sind die Jahresverläufe der erzeugten halbsynthetischen Klimadatensätze für Mallnitz grafisch dargestellt. Gezeigt werden die täglichen Maximal- und Minimalwerte der für die jeweilige Datenart erzeugten Stundenwerte. Zudem wird ein geglätteter Jahresverlauf dargestellt, der die Monatsmittelwerte des halbsynthetischen Jahrs genau einhält (Kontinuisierung gemäß [8]).

Außenlufttemperatur



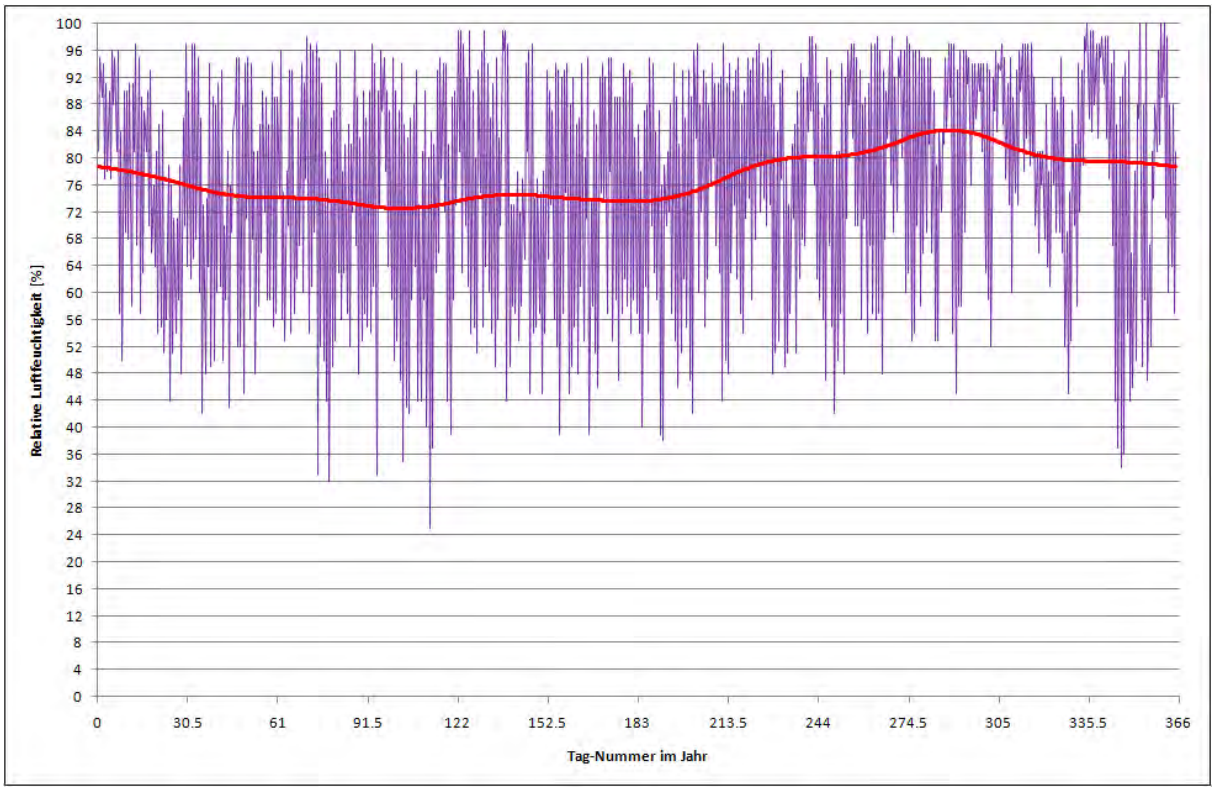
[47] Langjährige Monatsmittelwerte des Luftdrucks, geliefert von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Hohe Warte (ZAMG) [5]
[48] Langjährige Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit, geliefert von der ZAMG [5]

Monatsmittelwerte [°C]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
-2.83	-1.80	1.64	5.16	9.90	13.22	15.20	14.77	11.20	6.76	1.44	-1.94

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,01 K

Relative Feuchtigkeit der Außenluft

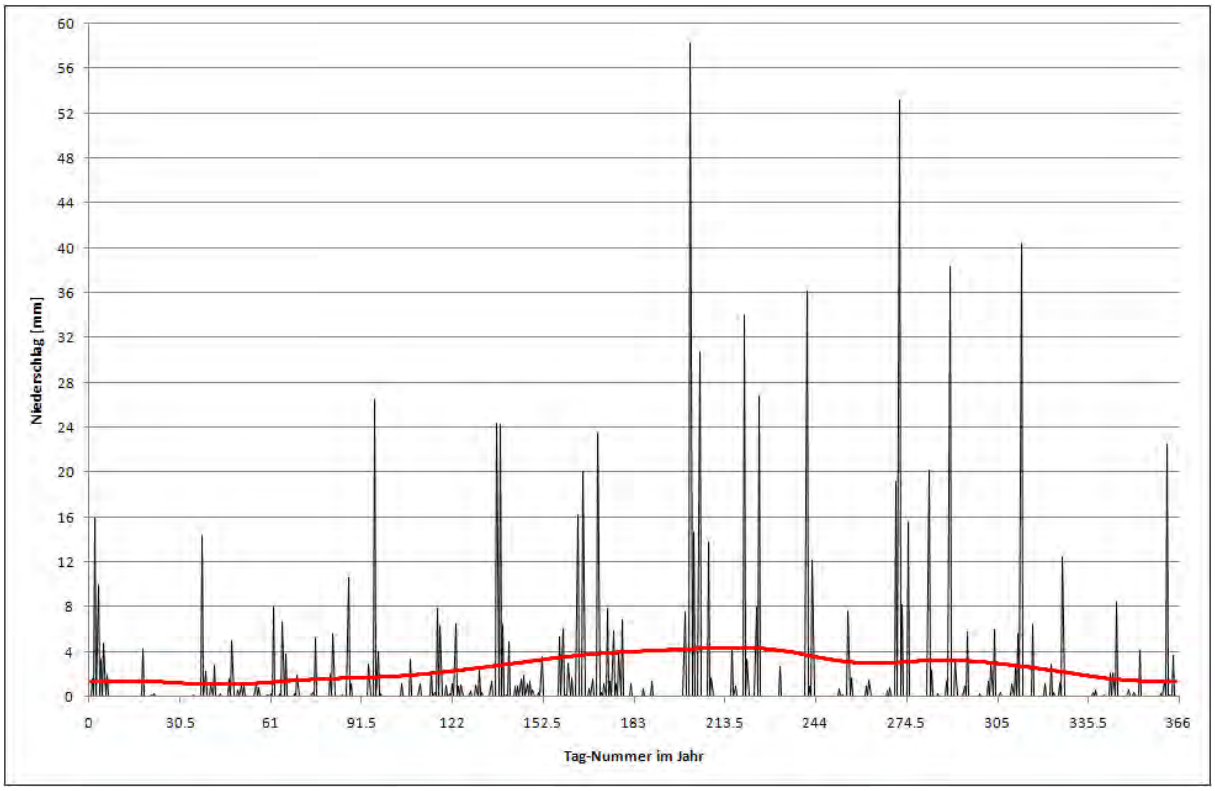


Monatsmittelwerte [%]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
77.52	74.7	73.79	72.79	74.31	73.89	74.7	79.19	80.99	83.65	80.6	79.31

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,04 %

Niederschlag

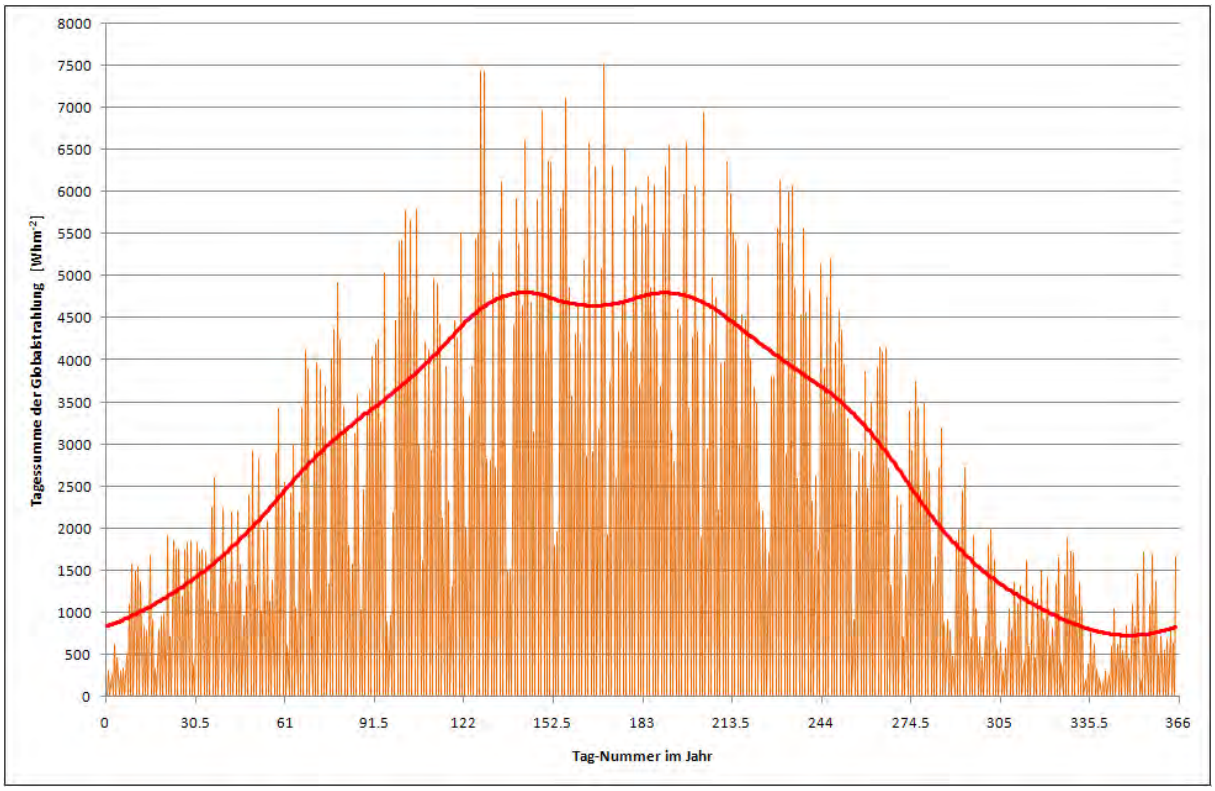


Monatssummen [mm]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
42.16	32.2	47.12	57.00	84.94	111.00	130.20	129.27	94.50	98.58	75.00	47.43

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 1.33 mm

Globalstrahlung auf die horizontale Fläche

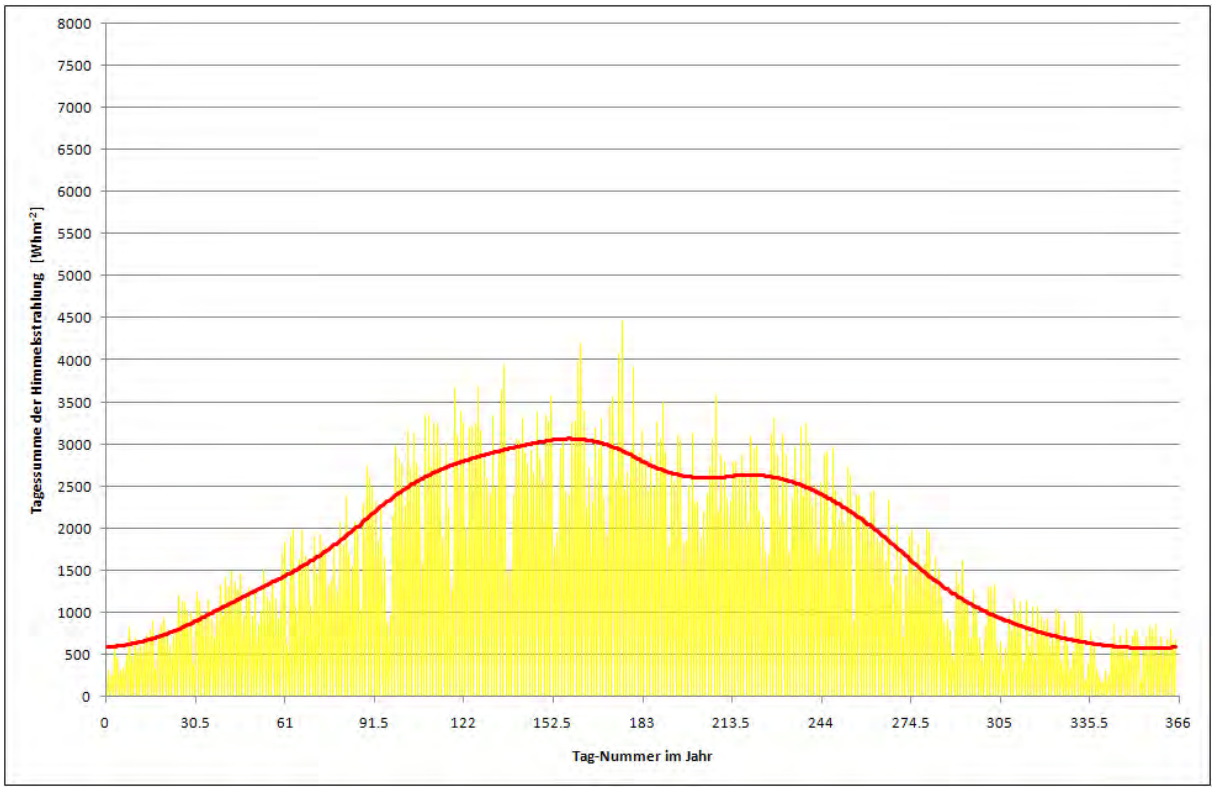


Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1096.42	1862.20	2926.79	3840.46	4687.72	4680.28	4725.27	4094.98	3215.28	1897.49	1063.33	761.92

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 1,45 Whm^{-2}

Diffuse Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche (Himmelsstrahlung)

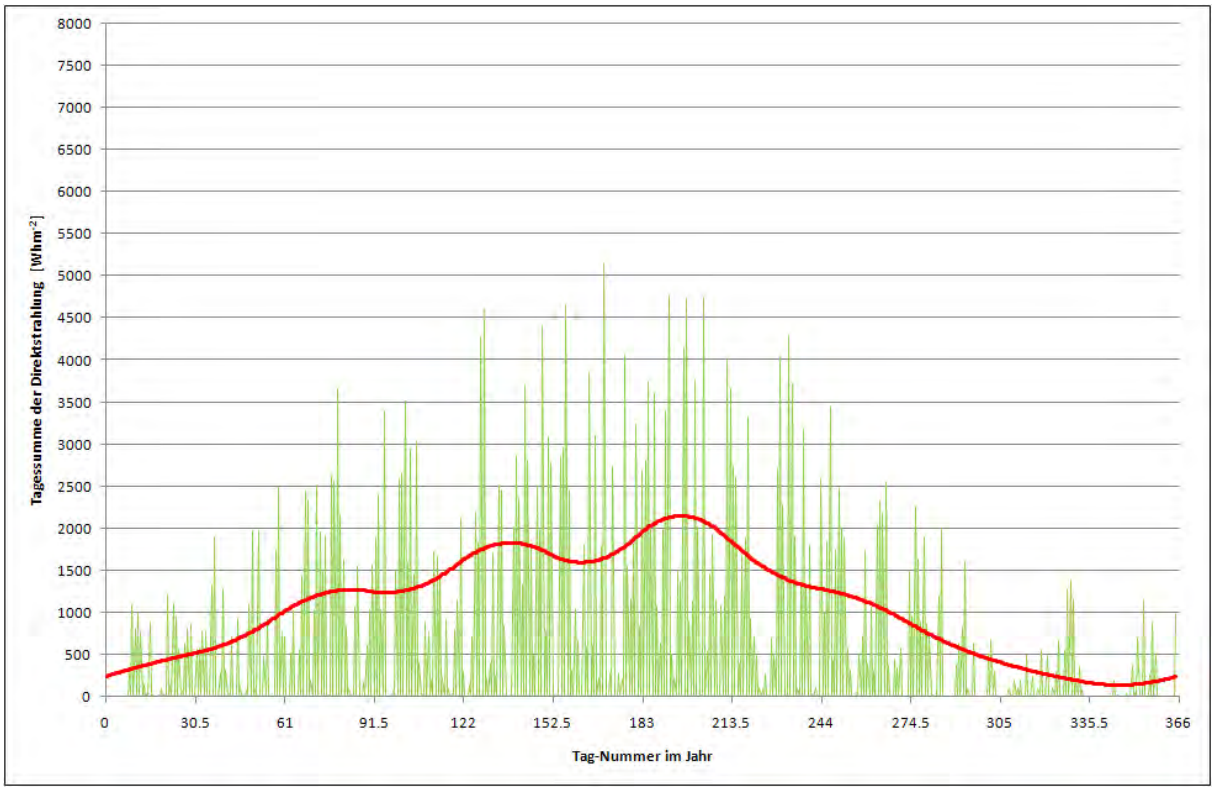


Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
706.36	1154.07	1736.02	2509.54	2925.09	3006.20	2661.83	2580.73	2085.83	1265.5	776.48	596.33

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,98 Whm^{-2}

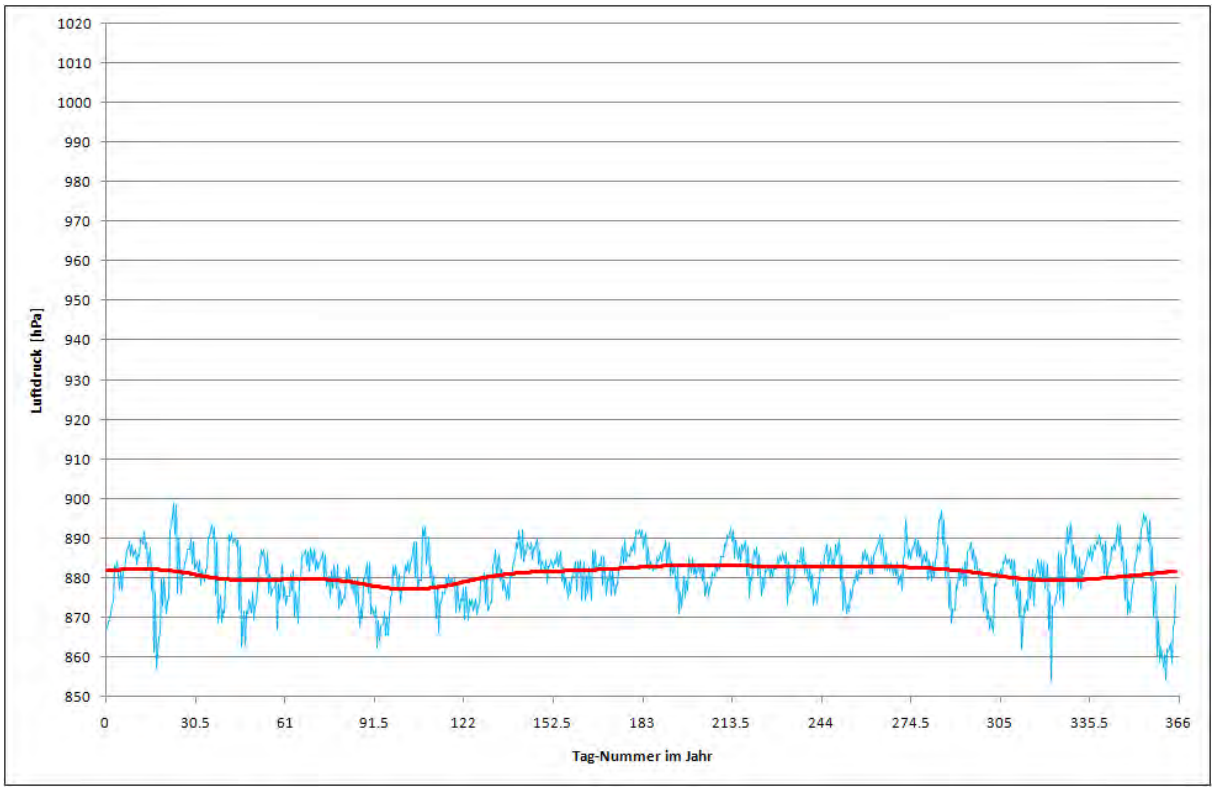
Direkte Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche



Mittlere monatliche Tagessumme [Whm^{-2}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
390.05	708.13	1190.77	1330.93	1762.63	1674.07	2063.44	1514.25	1129.44	631.99	286.85	165.59

Luftdruck

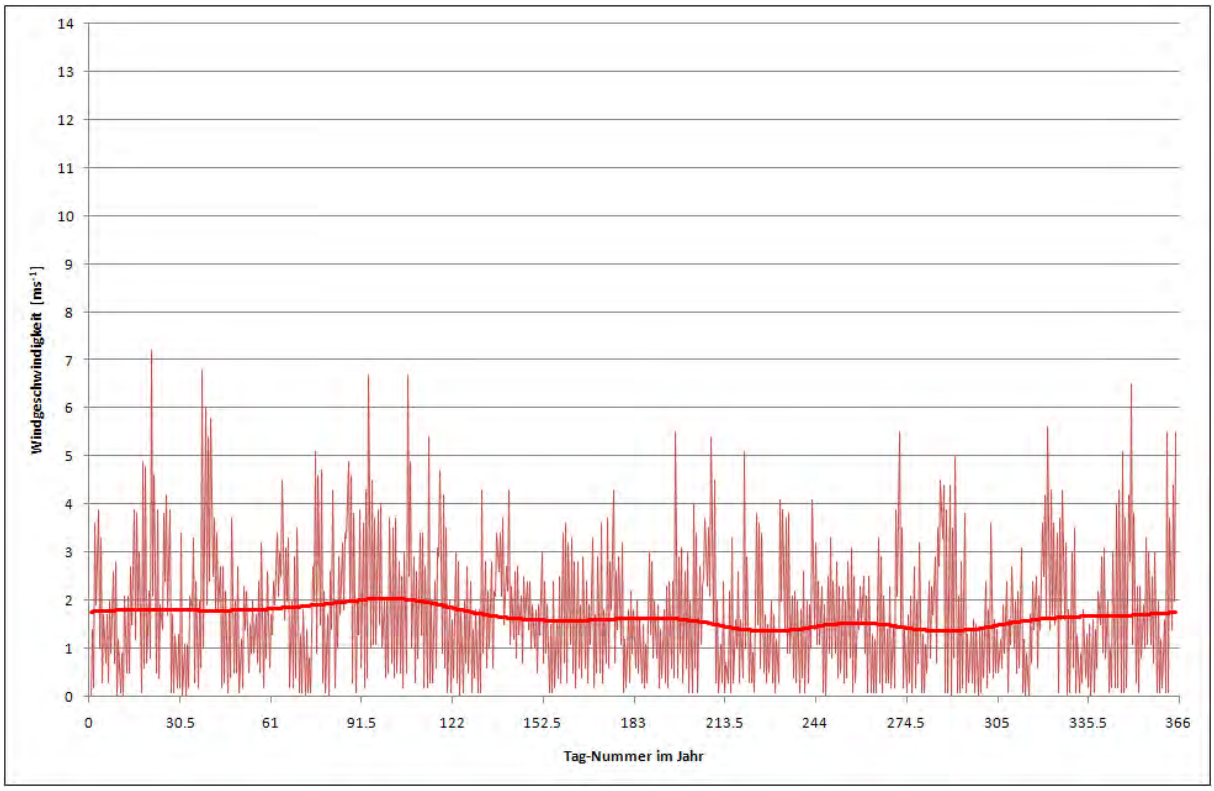


Monatsmittelwerte [hPa]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
881.9	879.7	879.4	877.6	880.6	882.1	883.1	883	882.9	881.9	879.7	880.6

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,00 hPa

Windgeschwindigkeit



Monatsmittelwerte [ms^{-1}]

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1.8	1.8	1.9	2.0	1.7	1.6	1.6	1.4	1.5	1.4	1.6	1.7

Größte Abweichung zu den vorgegebenen Monatsmittelwerten: 0,0 ms^{-1}

12.2. Mathematisches Modell des Raumes

Zonenbilanz

Die Energiebilanz einer Zone wird in Abbildung 158: dargestellt. Für die Berechnung gilt der Energieerhaltungssatz (erster Hauptsatz der Thermodynamik), welcher besagt, dass die Summe der Energieströme gleich der zeitlichen Änderung der gespeicherten Energie ist.

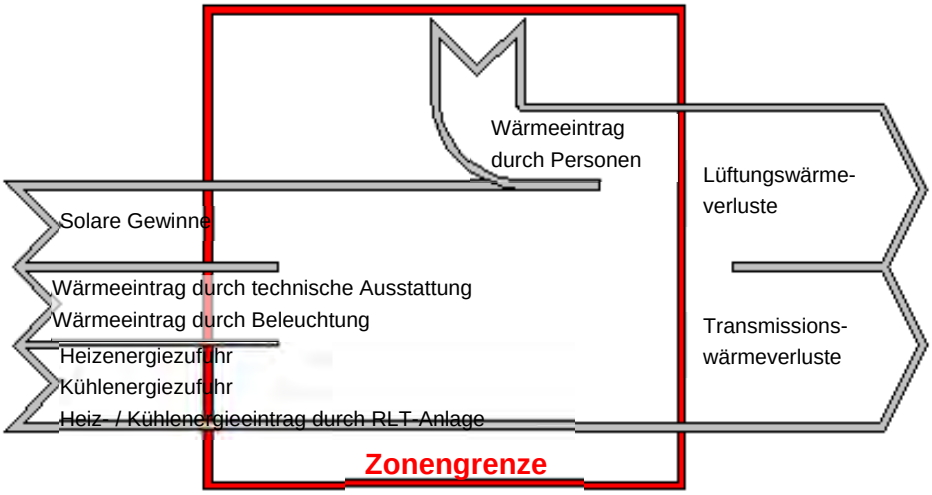


Abbildung 158: Energiebilanz einer Zone

Berechnung der Bauteile - Wärmebilanz

Die Berechnung der Bauteile erfolgt, analog zur Zonenberechnung, über den Energieerhaltungssatz, wobei die Bauteile jeweils in Schichten eingeteilt werden und die Energiebilanz für jede einzelne Schicht gebildet wird.

Das physikalische Modell für die Wärmespeicherung und den Wärmetransport wird nach folgenden Gleichungen berechnet und ist in nachfolgender Beschreibung für die einzelnen Bauteiltypen (Trennbauteil, Bauteil mit Wärmestrom nach außen, Bauteil mit Wärmestrom nach innen) detailliert beschreiben.

$$\left(c_{tr} \cdot \rho_{tr} + c_{H2O} \cdot \rho_{H2O} \cdot u_v(\vec{x},t)\right) \cdot \frac{\partial T(\vec{x},t)}{\partial t} = \nabla \lambda_T(w,T) \nabla T(\vec{x},t) \qquad (1)$$

c_{tr} spezifische Wärmekapazität in J/kg K

ρ_{tr} Dichte des trockenen Baustoffs in kg/m³

u_v Feuchtigkeitsgehalt in kg/m³

T Temperatur in K

$\lambda_T(w,T)$ Wärmeleitfähigkeit in W/m K

Als Randbedingung werden der konvektive Wärmeübergang, der Infrarotstrahlungsaustausch und die Absorption von Solarstrahlung nach folgender Gleichung berechnet.

$$\alpha_c \cdot (T_L - T_O) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_O^4) + \alpha \cdot I_{sol} = -\lambda_T(w,T) \cdot \nabla T(\vec{x},t)\big|_{\vec{x}=\Omega} \quad (2)$$

α_c Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in W/m²K
T_L Lufttemperatur in K
T_O Oberflächentemperatur in K
ε effektiver Emissionsgrad dimensionslos
T_s Strahlungstemperatur in K
α Absorptionsgrad für Solarstrahlung dimensionslos
I_{sol} Solare Einstrahlung in W/m²

$$T_s = \sqrt[4]{F_{Sky} \cdot T_{Sky}^4 + \left(1 - F_{Sky}\right) \cdot T_L^4} \quad (3)$$

F_{sky} Sichtfaktor der Oberfläche zum Himmel dimensionslos
T_{sky} Himmelstemperatur in K

Trennbauteile

Die Trennwände werden rechnerisch in 5 Schichten geteilt, wobei der Wärmestrom durch die Schichten bzw. in den Randschichten jeweils unterschiedlich berechnet wird. Die Berechnung ist nachfolgend dargestellt.

In Abbildung 159 ist die Berechnungsstruktur schematisch dargestellt, wobei die Bilanzgleichung für Wärmeenergie in jedem Knoten erfüllt sein muss. Zwischen den Koten befinden sich Widerstände, die materialabhängig bzw. von der Oberfläche oder Witterungseinflüssen abhängig sind. Jeder Knoten entspricht einem Temperaturknoten, wobei die Bilanzgleichungen nachfolgend für jeden Knoten erläutert sind.

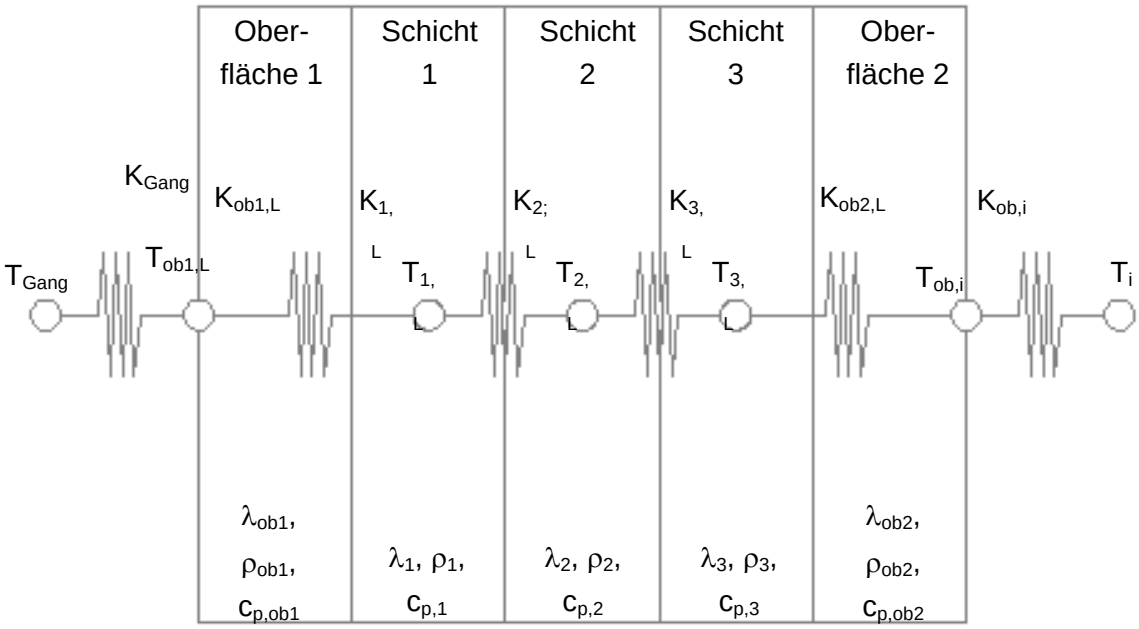


Abbildung 159: Schematische Darstellung des Schichtenmodells für Trennbauteile (Bsp.: Wand zwischen Bürozone und Gangbereich)

Modell für den Wärmestrom durch eine Schicht

Die mathematische Modellierung des Wärmestromes durch eine Schicht ist nachfolgend dargestellt. In Abbildung 160 ist die schematische Darstellung des Wärmestroms durch eine Schicht dargestellt.

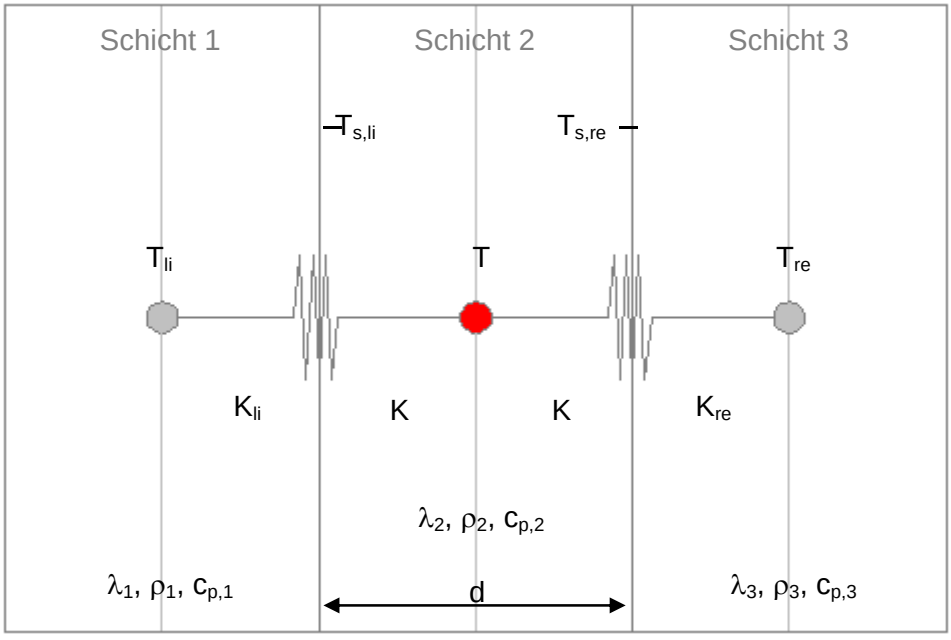


Abbildung 160: Schematische Darstellung des Wärmestroms durch eine Schicht

Der Wärmestrom durch die Schicht wird nach folgendem Berechnungsschema durchgeführt und gilt als Basis der Berechnung für alle Schichten. Die Basis der Berechnung bildet der Energieerhaltungssatz, der besagt, dass die Summe der zu- und abströmenden Energie im betrachteten Kontrollvolumen mit konstantem Druck gleich der Änderung der gespeicherten Energie ist. Für die Temperaturberechnung stellt die Summe der Wärmeströme in und aus dem Kontrollvolumen die Änderung der Temperatur dar (siehe nachfolgende Gleichung).

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_S} * (\mathbf{q_{li}} + \mathbf{q_{re}}) \quad (4)$$

dT/dt zeitliche Änderung der Temperatur in der Schicht in K/s

C_S Wärmekapazität der Schicht bezogen auf die Fläche in J/m²K

q_{li} Wärmestromdichte von links in W/m²

q_{re} Wärmestromdichte von rechts in W/m²

Die Wärmekapazität der Schicht berechnet sich aus nachfolgender Gleichung

$$C_S = \rho * c_p * d \quad (5)$$

C_S Wärmekapazität der Schicht bezogen auf die Fläche in W/m²

ρ Dichte des Materials in kg/m³

c_p spezifische Wärmekapazität des Materials in J/kgK

d Dicke der Schicht in m

Die Wärmestromdichte aus der jeweiligen Richtung wird nach folgender Gleichung berechnet.

$$q = q_{cond} + q_{conv} \quad (6)$$

q_{cond} Wärmestromdichte aus Wärmeleitung in W/m²

q_{conv} Wärmestromdichte aus Konvektion in W/m²

Die Wärmestromdichte aus Wärmeleitung setzt sich aus dem Anteil der linken Seite und der rechten Seite zusammen, wobei der Wärmedurchlasskoeffizient der halben Schicht nach folgenden Gleichungen berechnet wird.

$$q_{cond,li} = K * (T_{Grenz,li} - T_{Schicht}) \quad (7)$$

$$q_{cond,re} = K * (T_{Grenz,re} - T_{Schicht}) \quad (8)$$

$q_{cond,li}$ Wärmestromdichte aus Wärmeleitung von der linken Seite in W/m²

$q_{cond,re}$ Wärmestromdichte aus Wärmeleitung von der rechten Seite in W/m²

K Wärmedurchgangskoeffizient der Schicht in W/m²K

$K_{½}$ Wärmedurchgangskoeffizient der halben Schicht in W/m²K

$T_{Grenz,li}$ Temperatur an der linken Schichtgrenze in K

$T_{Grenz,re}$ Temperatur an der rechten Schichtgrenze in K

$T_{Schicht}$ Temperatur in der Schicht in K

$K_{½} = \lambda / (d/2)$ (9)

$K_{½}$ Wärmedurchgangskoeffizient der halben Schicht in W/m²K

λ Wärmeleitfähigkeit in W/mK

d Dicke der Schicht in m

Die Berechnung der Temperatur an der Schichtgrenze ($T_{s,li}$ / $T_{s,re}$) wird anhand nachfolgender berechnet, wobei sich die dargestellte Berechnung auf die linke Seite bezieht, die rechtsseitige Schichttemperatur wird analog dazu berechnet.

$$\mathbf{T_{Grenz,li}} = \frac{\mathbf{K_{½} * T_{Schicht} + UK_{Schicht,li} * T_{Schicht,li}}}{\mathbf{K_{½} + K_{Schicht,li}}} \quad (10)$$

$T_{Grenz,li}$ Temperatur an der linken Schichtgrenze in K

$T_{Schicht}$ Temperatur in der Schicht in K

$T_{Schicht,li}$ Temperatur in der linken Schicht in K

$U_{½}$ Wärmedurchlasskoeffizient der halben Schicht in W/m²K

$U_{Schicht,li}$ Wärmedurchlasskoeffizient in der linken Schicht in W/m²K

Modell für den Wärmestrom von außen

Der Unterschied des äußeren Oberflächenschichtknoten zum Schichtknoten liegt darin, dass der Knoten an der äußeren Schichtgrenze positioniert ist, daher wird der Wärmedurchlasskoeffizient (U) auf die gesamte Schichtstärke bezogen. Weiters wird die Wärmestromdichte von außen über das angrenzende Klima berechnet.

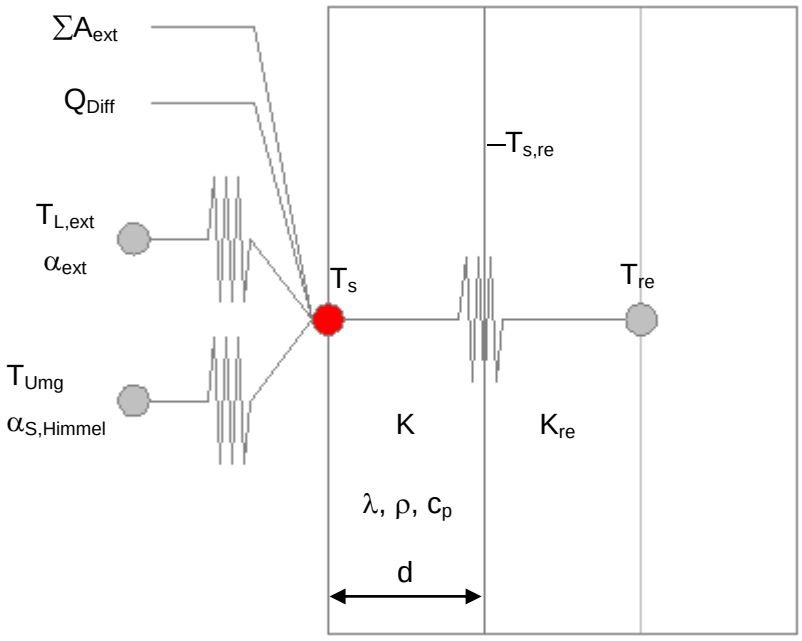


Abbildung 161: Schematische Darstellung des Wärmestroms der äußeren Konstruktionsschicht

Die Bilanzgleichung (Gleichung 5) gilt daher auch für diesen Knoten, es wird lediglich die Wärmestromdichte von außen aus Gleichung 7 über nachfolgende Gleichung wie folgt definiert:

$$q = (T_a - T_O) \cdot \alpha_c + (I_{diff} + I_{dir}) \cdot \alpha + (T_S - T_O) \cdot \varepsilon \cdot \alpha_r \quad (11)$$

T_a Temperatur der Außenluft in K

T_O Temperatur der Oberfläche in K

α_c konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in W/(m².K)

I_{diff} diffuse Strahlung auf die Oberfläche in W/m²

I_{dir} direkte Strahlung auf die Oberfläche in W/m²

α Absorptionsgrad der Oberfläche

T_S Strahlungstemperatur der Umgebung in K

ε Emissionsvermögen der Oberfläche

α_r Strahlungswärmeübergangskoeffizient in W/(m².K)

Bei den Bauteilen mit Wärmestrom von außen kommen als zusätzlicher und wesentlicher Faktor die Solaren Wärmegewinne hinzu, die einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf / Energieverbrauch des Gebäudes sowie auf die Behaglichkeit des Raumes haben. Grundsätzlich wird die solare Einstrahlung auf Gebäude nach Riccabona (2008) von verschiedenen Faktoren beeinflusst

- Jahreszeit
- Standort
- Seehöhe
- Trübung, Bewölkung, Nebel
- Horizont
- Nachbarbebauung
- Auskragende Bauteile
- Fensterrücksprünge

Die solaren Wärmegewinne sind Abhängig von der Intensität der Globalstrahlung und von der Energiedurchlässigkeit der Außenhülle und wird nach dem Monatsbilanzverfahren nach folgender Gleichung beschrieben, analog kann diese Gleichung mit variablen Zeitschritten angewendet werden.

$$Q_S = \sum_j (I_{s,j} * \sum_m A_{G,j}) \quad (12)$$

Q_S monatlichen solaren Gewinne in kWh

$I_{S,j}$ Gesamtenergie der Globalstrahlung auch eine Flächeneinheit mit einer Orientierung j während des jeweiligen Monats in kWh/m²

$A_{G,j}$ wirksame Kollektorfläche der Verglasungsfläche in m²

Die solaren Wärmegewinne durch die Fassadenkonstruktion werden nach folgenden Bilanzgleichungen beschrieben.
Zu den Eingangsgrößen zählen unter anderem der Sonnenwinkel, die direkte Solarstrahlung, die diffuse Solarstrahlung sowie die Reflexionsstrahlung.

Die direkte Strahlung auf eine Fläche wird über folgende Gleichung beschrieben

$$I_{dir,S} = (1 - rF) \cdot I_{dir,n} \cdot \cos(\gamma_{SF}) \quad (13)$$

$I_{dir,S}$ direkte solare Strahlung auf eine Fläche in W/m²
rF Reflektionsgrad der Fläche
$I_{dir,n}$ direkte solare Strahlung auf eine Fläche normal zur Sonne in W/m²

Wobei für cos (γ_{SF}) der Zusammenhang aus folgender Gleichung gilt.

$$\cos(\gamma_{SF}) = \cos(\gamma_F) \cdot \sin(\gamma_S) + \sin(\gamma_F) \cdot \cos(\gamma_S) \cdot \cos(|a_S - a_F|) \quad (14)$$

γ_F Neigung der Fläche in rad (horizontal=0)
γ_S Sonnenstand in rad (horizontal=0)
γ_{SF} Winkel zwischen dem Sonnenstand und der Fläche in rad
a_S Orientierung der Sonne in rad (north=0)
a_F Orientierung der Fläche in rad (north=0)

Die diffuse Strahlung auf eine Fläche wird über folgenden Zusammenhang beschrieben.

$$I_{diff,S} = (1 - rF) \cdot I_{diff,H} \cdot \left(\cos\frac{\gamma_F}{2}\right)^2 \quad (15)$$

$I_{diff,S}$ diffuse solare Strahlung auf eine Fläche in W/m²
$I_{diff,H}$ diffuse solare Strahlung auf eine horizontale Fläche in W/m²
rF Reflektionsgrad der Fläche
γ_F Neigung der Fläche in rad (horizontal=0)

Die Reflektionsstrahlung auf eine Fläche von der Umgebung wird mittels folgender Gleichung bestimmt.

$$I_{diff,refl} = rU \cdot \left(\sin\frac{\gamma_F}{2}\right)^2 \cdot (I_{dir,n} \cdot \sin(\gamma_S) + I_{diff,H}) \quad (16)$$

$I_{diff,refl}$ diffuse Reflektionsstrahlung auf eine Fläche in W/m²
$I_{diff,H}$ diffuse solare Strahlung auf eine horizontale Fläche in W/m²
$I_{dir,n}$ direkte solare Strahlung auf eine Fläche normal zur Sonne in W/m²
γ_F Neigung der Fläche in rad (horizontal=0)
γ_S Sonnenstand in rad (horizontal=0)
rF Reflektionsgrad der Umgebung

Die Größe zur Beurteilung des Wärmeeintrages durch Solarstrahlung ist der g-Wert. Der g-Wert gibt an, welcher Prozentsatz der eingestrahlten Energie im Innenraum wirksam wird. Entscheidend für die Beurteilung des Wärmeeintrages ist der g-Wert des Fassadensystems und nicht der g-Wert eines Bauteils alleine. Die Kombination aus Verglasung und Verschattung definieren den effektiven g-Wert für den Raum. Diese hängt von folgenden Faktoren maßgeblich ab

- Verglasungseigenschaft
- Art, Einbaulage und Stellung des Sonnenschutzsystems
- Einfallsrichtung der Strahlung
- Windgeschwindigkeit und Windrichtung

Für die drei Kenngrößen Absorption, Transmission und Reflektion gilt die Bedingung nach nachfolgender Gleichung

$$\alpha + \delta_S + \tau = 1 \qquad (17)$$

δ_S Reflexionsgrad
α Absorptionsgrad
τ_S Transmissionsgrad

Ein Teil der auf die äußere Scheibe einfallenden Sonnenstrahlung wird reflektiert, ein Teil absorbiert und ein Teil tritt hindurch. Der Transmissionsanteil trifft auf die Innenkonstruktion und wird neuerlich in die drei Anteile zerlegt. Der hier reflektierte Anteil trifft erneut auf die äußere Glasscheibe. Die Größe der Anteile hängt vom Spektralbereich und von den Eigenschaften der Baustoffe ab.

In Abbildung 162 sind die einzelnen Strahlungseinflüsse auf die Fassade schematisch dargestellt.

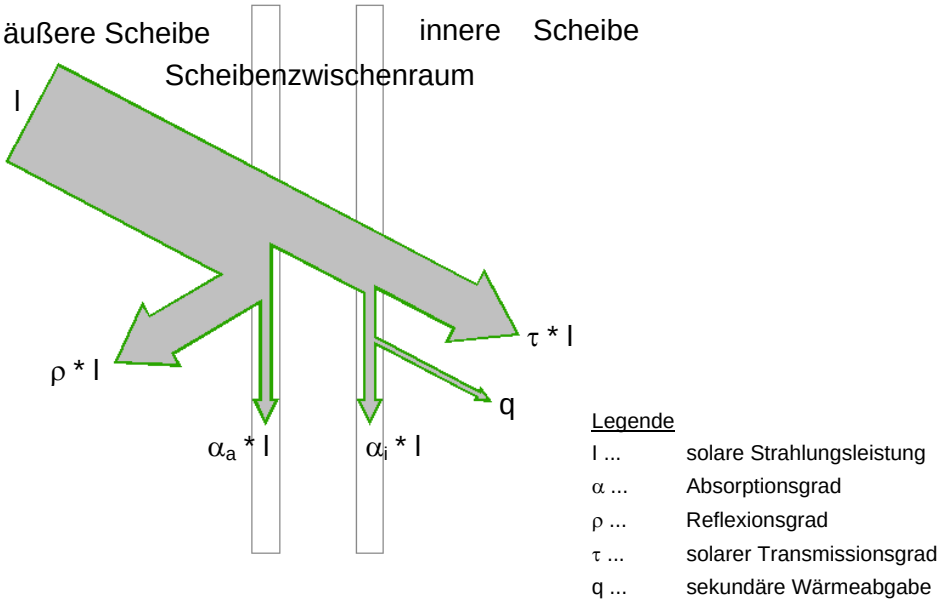


Abbildung 162: Schematische Darstellung Strahlungsverteilung, solarer Wärmeeintrag

Modell für den Wärmestrom nach innen

Der innere Oberflächenschichtknoten ist, wie der äußere, an der Schichtgrenze an der Oberfläche positioniert. Daher muss als Änderung zu einem innen liegendem Schichtknoten der Wärmedurchlasskoeffizient (U) auf die gesamte Schichtstärke bezogen werden. Weiters wird die Wärmestromdichte von innen über das angrenzende Raumklima berechnet.

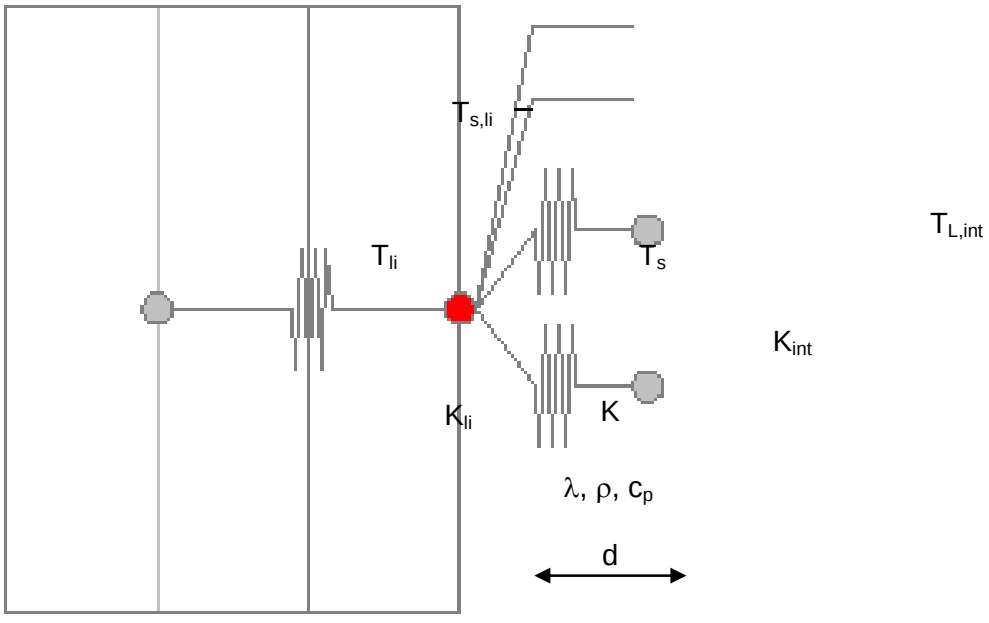


Abbildung 163: Schematische Darstellung des Wärmestroms der inneren Konstruktionsschicht

Die Bilanzgleichung (Gleichung 5) gilt daher auch für diesen Knoten, es wird lediglich die Wärmestromdichte von innen aus Gleichung 7 über nachfolgende Gleichung wie folgt definiert:

$$q = \left(T_R - T_O\right) \cdot \alpha_c + q_{rad} \qquad (18)$$

T_a Temperatur der Raumluft in °C

T_S Temperatur der Oberfläche in °C

α_c konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in W/(m².K)

q_{rad} Strahlung auf die Oberfläche in W/m²

Modell für den Lufttransport durch Bauteile

Der Lufttransport durch Bauteile wird nach folgenden Gleichungen berechnet.

Luft wird als inkompressibel betrachtet.

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \qquad (19)$$

v Luftgeschwindigkeit in m/s

Zur Berücksichtigung des thermischen Auftriebs wird die Abhängigkeit der Luftdichte von der Temperatur nur bei Multiplikation mit der Gravitationskonstante berücksichtigt.

$$\rho \cong \rho_0 \cdot \left(1 - \beta \cdot \left(T - T_0\right)\right) \qquad (20)$$

ρ_0 Luftdichte bei Referenztemperatur in K

β Volumenausdehnungskoeffizient in 1/K $\beta = 3{,}7 \cdot 10^{-3}\ 1/K$

T_0 Referenztemperatur in K

$$v_x = -\frac{k}{\eta} \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x} P_a\right)$$

$$v_y = -\frac{k}{\eta} \cdot \left(\frac{\partial}{\partial y} P_a\right) \qquad (21)$$

$$v_z = -\frac{k}{\eta} \cdot \left(\frac{\partial}{\partial z} P_a + \rho g\right)$$

k Luftpermeabilität in m²

η dynamische Viskosität von Luft in Pa s $\eta = 17{,}1 \cdot 10^{-6}\ Pas$

Pa Luftdruck in Pa

12.2.1. Modellierung der Druckverhältnisse in Konstruktionen

Strömungsgeschwindigkeit in der Belüftungsebene

Nach Liersch (1986) errechnet sich die Luftstromgeschwindigkeit in der Hinterlüftungsebene eines Daches oder einer Wand wie folgt.

$$v_{gap} = \sqrt{\frac{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta H}{T_{air}} \cdot (T_{gap} - T_{air})}{1 + \sum \zeta}} \qquad (22)$$

v_{gap} Luftgeschwindigkeit in der Hinterlüftungsebene in m/s
g Erdbeschleunigung in m/s²
ΔH Höhendifferenz in m
T_{air} absolute Temperatur der Außenluft in K
T_{gap} absolute Temperatur im Belüftungsraum in K
ζ Reibungsbeiwert, dimensionslos

Der gesamte Widerstand, der der Durchströmung der Hinterlüftungsebene entgegengesetzt wird, setzt sich aus dem Widerstand für die Beschaffenheit der Einlassöffnung, der Wandreibung in der ganzen Hinterlüftungsebene und der Beschaffenheit der Auslassöffnung zusammen.

$$\sum \zeta = \zeta_E + \zeta_R + \zeta_A \qquad (23)$$

ζ_E Reibungsbeiwert der Einlassöffnung
ζ_R Wandreibungsbeiwert
ζ_A Reibungsbeiwert der Auslassöffnung

Berücksichtigung von Leckagen

Die Luftdruckverhältnisse, die sich in der Konstruktion aufgrund von Leckagen einstellen sind von der Verteilung der Leckagen und von den lokalen Winddrücken abhängig. Die Berechnung erfolgt nach Clarke (2001) und nach COMIS (2003).

12.3. Bauteilintegrierte Photovoltaik und Solarthermie

12.3.1. Physikalisches Model für den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport

$$\frac{\partial c(\vec{x},t)}{\partial t} = \nabla \frac{\delta_{P0}(T)}{\mu(\varphi)} \nabla p(\vec{x},t) + \nabla K(s) \nabla s(\vec{x},t) \qquad (24)$$

c Feuchtigkeitsgehalt in kg/m³
x Weg
t Zeit
$\delta_{P0}(T)$ Permeabilität von Wasserdampf in Luft oder Wasserdampfdiffusions-Leitkoeffizient der Luft in kg/(m*s*Pa) oder in s
T Temperatur in K
$\mu(\varphi)$ Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, dimensionslos
φ relative Luftfeuchte, dimensionslos
p Wasserdampfpartialdruck in Pa
K(s) Flüssigkeitsleitzahl in m²/s
s Saugspannung in Pa

Als Randbedingung werden der konvektive Feuchteübergang und das Aufsaugen von flüssigem Wasser (z.B. Schlagregen) nach folgenden Gleichungen berechnet.

Konvektiver Übergang von Wasserdampf:

$$q_{surf,v} = \beta_P \cdot (p_{air} - p_{surf}) \qquad (25)$$

$q_{surf,v}$ Massenstromdichte infolge Konvektion in kg/m²s
β_P Feuchteübergangskoeffizient in kg/(m²*s*Pa)
p_{air} Partialdruck der Luft in Pa
p_{surf} Partialdruck an der Oberfläche in Pa

Flüssigkeitsaufnahme: (Vorgegebene Saugspannung (z.B. Probekörper in Wasserbad))

$$s(\vec{x}_{surf},t) = s_0(t) \qquad (26)$$

Flüssigwasserstrom an die Oberfläche (z.B. Regen):
Das Angebot an Flüssigwasser wird durch die Randbedingung vorgegeben. Die aufgenommene Menge ist das Minimum aus Angebot und maximal aufnehmbarer Wassermenge. Die maximal aufnehmbare Wassermenge hängt von den Flüssigtransporteigenschaften des Baustoffs ab. Das Überangebot an Wasser rinnt in der Realität an der Oberfläche ab. In der Berechnung wird dies noch nicht berücksichtigt.

$$q_{l,max} = K(s) \nabla s(\vec{x},t)\Big|_{\vec{x}=\vec{x}_{surf}} \qquad (27)$$

$$q_{surf,l} = \beta_P \cdot (p_{air} - p_{surf}) \qquad (28)$$

$q_{surf,l}$ Massenstromdichte infolge Flüssigwassertransport in kg/m²s

Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und Saugspannung

$$s = -\log(\varphi) \cdot \rho_{H2O} \cdot R_D \cdot T \qquad (29)$$

s Saugspannung in Pa
φ relative Luftfeuchte, dimensionslos
ρ Dichte in kg/m³
R_D Gaskonstante von Wasserdampf in Luft in J/(kg*K)
T Temperatur in K

Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Arten der Darstellung des kombinierten Wasserdampf- und Flüssigwassertransportes:

$$g_v = -\frac{\delta_{P0}}{\mu} \nabla p \qquad (30)$$

g_v Massenstromdichte infolge Diffusion in kg/(m²*s)
δ_{P0} Permeabilität von Wasserdampf in Luft oder Wasserdampfdiffusions-Leitkoeffizient der Luft in kg/(m*s*Pa) oder in s
μ Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, dimensionslos
p Wasserdampfpartialdruck in Pa

Wenn die Saugspannung eine eindeutige Funktion des Wassergehaltes ist, kann der Flüssigwassertransport auch mit Hilfe der Diffusivität beschreiben werden.

$$g_l = -D \nabla w \qquad D = -K \cdot \frac{\partial w}{\partial s} \qquad (31)$$

$$g_l = K \nabla s = K \cdot \frac{\partial s}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial p} \cdot \nabla p = -K \cdot \frac{\rho_{H2O} \cdot R_{H2O} \cdot T}{\varphi} \cdot \frac{1}{p_{sat}} \cdot \nabla p = -K \cdot \frac{\rho_{H2O}}{u_v} \cdot \nabla p \qquad (32)$$

$$g = -\frac{\delta_0}{\mu} \nabla p - K \cdot \frac{\rho_{H2O}}{u_v} \cdot \nabla p = \frac{\delta_0}{\mu_{eff}} \nabla p \qquad \mu_{eff} = \mu + \frac{1}{K} \cdot \frac{u_v}{\rho_{H2O}} \frac{1}{\delta_0} \qquad (33)$$

$$g = -D_{eff} \nabla w \qquad D_{eff} = -K_{eff} \cdot \frac{\partial w}{\partial s} \qquad (34)$$

12.3.2. Solare Wärmegewinne des Kollektors

Die solaren Strahlungsgewinne setzen sich aus der direkten Strahlung, der diffusen Strahlung und den Reflexionen zusammen. Abhängig sind diese Größen (je nach Berechnungsmodell) von der Tageszeit, vom Azimut, von der Sonnenhöhe, Bewölkung und von den Materialparametern (Absorptionsgrad, Reflexionsgrad, Transmissionsgrad) der absorbierenden Schichten.

$$I_{sol} = I_{dir} + I_{diff} + I_{refl} \qquad (35)$$

I_{sol} Gesamtstrahlung in W/m²
I_{dir} direkte Strahlung in W/m²

I_{diff} diffuse Strahlung in W/m²

I_{refl} reflektierte Strahlung in W/m²

$$\delta_S + \alpha + \tau_S = 1 \qquad (36)$$

δ_S Reflexionsgrad

α Absorptionsgrad

τ_S Transmissionsgrad

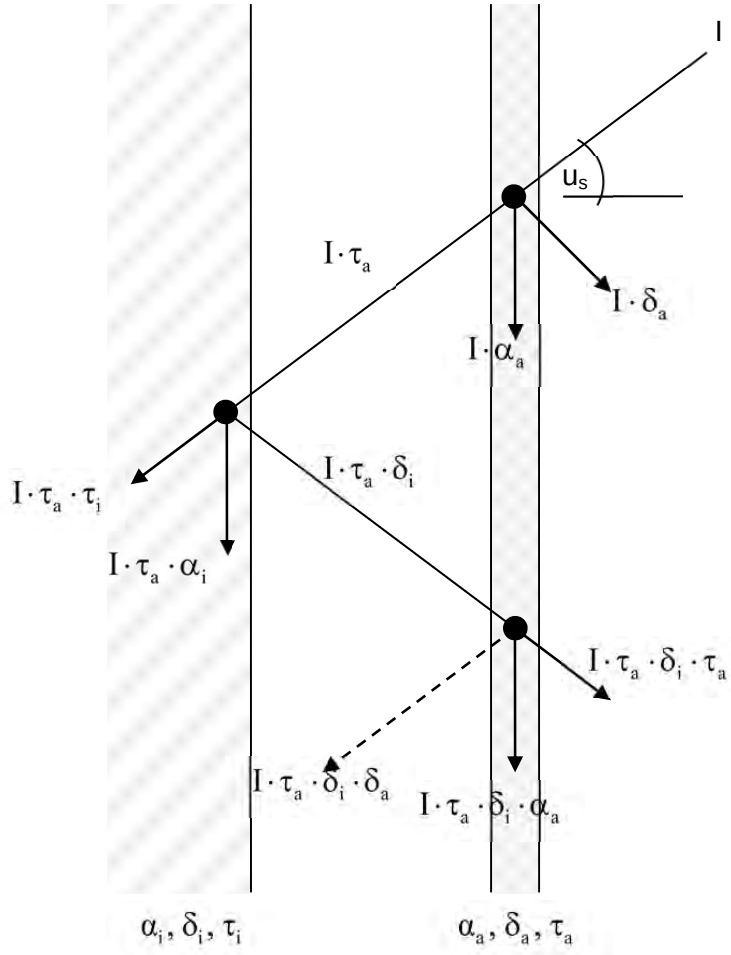


Abbildung 164: Strahlungsbilanz (Prinzipskizze)

Im Fall eines thermischen Solarkollektors ist die äußere Abdeckung eine Glasscheibe, die je nach Produkt verschiedene Materialeigenschaften aufweist. Zur Anwendung kommen in der Praxis normale Einscheibengläser (ESG) die im Float-Verfahren erzeugt wurden, prismierte Gläser, beschichtete Gläser oder sogar Gläser mit geschickt gewählten, wellenlängenabhängigen Materialeigenschaften. Beschichtete Gläser weisen je nach Orientierung des Strahlungseinfalls (von innen oder von außen) unterschiedliche Reflexions-, Absorptions- und Transmissionsgrade auf. Im folgenden Formeln sind Reflexions-,

Absorptions-, und Transmissionsgrade unabhängig von der Orientierung des Strahlungseinfalls.

Die in der äußeren Abdeckung absorbierte Strahlung berechnet sich zu

$$\sum_{n=0}^{\infty} I_{abs,a} = I_{sol} \cdot \alpha_a + \left(I_{sol} \cdot \tau_{Sa} \cdot \delta_{Si}\right) \cdot \alpha_a + \left(I_{sol} \cdot \tau_{Sa} \cdot \delta_{Si}\right) \cdot \delta_{Sa} \cdot \delta_{Si} \cdot \alpha_a + \ldots \quad (37)$$

und mit $0 < \delta_{Sa} < 1$ sowie $0 < \delta_{Si} < 1$ erhält man

$$\sum_{n=0}^{\infty} I_{abs,a} = I_{sol} \cdot \alpha_a + \left(I_{sol} \cdot \tau_{Sa} \cdot \delta_{Si}\right) \cdot \alpha_a \cdot \left(\frac{1}{1-(\delta_{Sa} \cdot \delta_{Si})}\right) \quad (38)$$

$I_{abs,a}$ von der äußeren Abdeckung absorbierte Strahlung in W/m²
I_{sol} Gesamtstrahlung in W/m²
α_a Absorptionsgrad der äußeren Abdeckung
τ_{Sa} Transmissionsgrad der äußeren Abdeckung
δ_{Si} Reflexionsgrad der inneren Bauteiloberfläche
δ_{Sa} Reflexionsgrad der äußeren Abdeckung

Die in der inneren Schicht absorbierte Strahlung berechnet sich zu

$$\sum_{n=0}^{\infty} I_{abs,i} = I_{sol} \cdot \tau_{Sa} \cdot \alpha_i + \left(I_{sol} \cdot \tau_{Sa} \cdot \delta_{Si}\right) \cdot \delta_{Sa} \cdot \alpha_i + \left(I_{sol} \cdot \tau_{Sa} \cdot \delta_{Si}\right) \cdot \delta_{Sa} \cdot \delta_{Si} \cdot \delta_{Sa} \cdot \alpha_i + \ldots \quad (39)$$

und mit $0 < \delta_{Sa} < 1$ sowie $0 < \delta_{Si} < 1$ erhält man

$$\sum_{n=0}^{\infty} I_{abs,i} = I_{sol} \cdot \tau_{Sa} \cdot \alpha_i \cdot \left(\frac{1}{1-(\delta_{Sa} \cdot \delta_{Si})}\right) \quad (40)$$

$I_{abs,i}$ von der inneren Schicht absorbierte Strahlung in W/m²
I_{sol} Gesamtstrahlung in W/m²
α_a Absorptionsgrad der äußeren Abdeckung
τ_{Sa} Transmissionsgrad der äußeren Abdeckung
δ_{Si} Reflexionsgrad der inneren Bauteiloberfläche
δ_{Sa} Reflexionsgrad der äußeren Abdeckung

12.3.3. Bio-Hygrisches Model für Verrottung und Schimmelpilzbildung

12.3.3.1. Model für Verrottung

Die Vorhersage von Schimmelpilzwachstum erfolgt nach dem neuesten Model des VTT (Technical Research Centre of Finland) und der University of Helsinki, Finland (Viitanen 2010).

Die folgende Gleichung basiert auf experimentellen Untersuchungen an Kiefernsplintholz (= Föhrensplintholz). Ein Masseverlust nach folgender Gleichung entsteht nur bei Temperaturen über 0 °C und relativen Luftfeuchtigkeiten über 95 %.

$$ML(\varphi,\theta,t) = -42.9 \cdot t - 2.3 \cdot \theta - 0.035 \cdot \varphi + 0.14 \cdot \theta \cdot t + 0.024 \cdot \theta \cdot \varphi + 0.45 \cdot \varphi \cdot t \qquad (41)$$

ML Masseverlust (ML … mass loss) in %
t Zeit (t … time) in Monaten
θ Lufttemperatur in °C
φ relative Luftfeuchtigkeit in %

Aktivierungs-Prozess

Der Parameter α startet bei 0 und steigert sich bis 1, wo der Masseverlust-Prozess beginnt.

$$\alpha(t) = \int_0^t d\alpha = \sum_o^t \Delta\alpha \qquad (42)$$

α Parameter, dimensionslos

In Zeiten außerhalb der notwendigen Bedingungen für Verrottung (θ > 0 °C und φ > 95 %) sinkt α wieder linear bis auf den Wert 0. Der Abfall von α=1 auf α=0 dauert zwei Jahre (= 17 520 Stunden).

$$\Delta\alpha = \begin{cases} \dfrac{\Delta t}{t_{crit}(\varphi,\theta)} & \text{wenn } \theta > 0°C \text{ und } \varphi > 95\% \\ -\dfrac{\Delta t}{17520} & \text{in allen anderen Fällen} \end{cases} \qquad (43)$$

Δt Zeitschritt (t … time) in h

Die kritische Zeit t_{crit} in h erhält man indem die Gleichung für ML(φ, θ, t) nach t umgeformt und ML=0 setzt.

$$t_{crit}(\varphi,\theta) = \left(\frac{2.3 \cdot \theta + 0.035 \cdot \varphi - 0.024 \cdot \theta \cdot \varphi}{-42.9 + 0.14 \cdot \theta + 0.45 \cdot \varphi} \right) \cdot 30 \cdot 24 \qquad (44)$$

t_{crit} kritische Zeit in h
θ Stundenmittelwert der Lufttemperatur in °C
φ Stundenmittelwert der relative Luftfeuchtigkeit in %

Masseverlust-Prozess

Ein Masseverlust tritt nur auf, wenn α ≥ 1. Ein Masseverlust errechnet sich nur bei Temperaturen über 0 °C und relativen Luftfeuchtigkeiten über 95 %. Außerhalb dieser Bedingungen gibt es weder Masseverlust noch Massegewinn und α sinkt wieder. Der Masseverlust-Prozess ist nicht umkehrbar.

$$ML(t') = \int_{t\,bei\,\alpha=1}^{t'} \frac{ML(\varphi,\theta)}{dt} dt = \sum_{t\,bei\,\alpha=1}^{t'} \left(\frac{ML(\varphi,\theta)}{dt} \cdot \Delta t \right) \qquad (45)$$

ML(t') Masseverlust in %
dt Zeitschritt (t … time) in h
Δt Zeitschritt (t … time) in h

$$\frac{ML(\varphi,\theta)}{dt} = -5.96 \cdot 10^{-2} + 1.96 \cdot 10^{-4} \cdot \theta + 6.25 \cdot 10^{-4} \cdot \varphi \qquad (46)$$

$\frac{ML(\varphi,\theta)}{dt}$ Masseverlust Masseverlust pro Zeiteinheit in %/h
θ Stundenmittelwert der Lufttemperatur in °C
φ Stundenmittelwert der relative Luftfeuchtigkeit in %

12.3.3.2. Model für Schimmelpilzbildung

Die Vorhersage von Schimmelpilzwachstum erfolgt nach dem neuesten Model des VTT (Technical Research Centre of Finland) und der Tampere University of Technology, Finland (Ojanen 2011).

Tabelle 41: Schimmel-Index nach (Ojanen 2011)

Schimmel-index (Mould Index)	Beschreibung des Schimmelwachstums
0	kein Wachstum
1	kleine mikroskopische Schimmelmengen an der Oberfläche Anfangsstadium lokalen Wachstums
2	einige lokale mikroskopische Schimmelkolonien an der Oberfläche
3	sichtbare Stellen mit Schimmel < 10 % sichtbare Deckung oder < 50 % mikroskopische Deckung
4	sichtbare Stellen mit Schimmel 10 – 50 % sichtbare Bedeckung oder > 50 % mikroskopische Bedeckung
5	Viel Wachstum an der Oberfläche > 50 % sichtbare Bedeckung
6	starkes und dichtes Wachstum ~ 100 % sichtbare Bedeckung

$$\frac{dM}{dt} = \frac{k_1 \cdot k_2}{24 \cdot 7 \cdot e^{-0.68 \cdot \ln(\theta) - 13.9 \cdot \ln(\varphi) + 0.14 \cdot W - 0.33 \cdot SQ + 66.02}} \qquad (47)$$

M Schimmel-Index (M … Mould Index)

t Zeit (t … time) in h

k_1 Intensitätsfaktor hängt vom Schimmel-Index ab

k_2 Mäßigungsfaktor wenn der Schimmel-Index ein Maximum erreicht hat

θ Temperatur in °C

φ relative Luftfeuchtigkeit in %

W Holzart, W=0 für Kiefer oder Föhre, W=1 für Fichte

SQ Oberflächenqualität (SQ … surface quality), SQ=0 für sägerauhe Holzoberfläche und alle anderen Materialien, SQ=1 für darrgetrocknete Holzoberfläche

$$k_1 = \begin{cases} \dfrac{t_{M=1,pine}}{t_{M=1}} & \text{wenn } M < 1 \\ 2 \cdot \dfrac{\left(t_{M=3,pine} - t_{M=1,pine}\right)}{\left(t_{M=3} - t_{M=1}\right)} & \text{wenn } M \geq 1 \end{cases} \quad (48)$$

$t_{M=1,pine}$ Zeit um auf Kiefer oder Föhre Schimmelindex 1 zu erreichen = Zeit um auf Kiefer oder Föhre Schimmelwachstum zu starten (M … Mould Index, pine … Kiefer, Föhre)

$t_{M=1}$ Zeit um Schimmelindex 1 zu erreichen = Zeit um Schimmelwachstum zu starten

$t_{M=3,pine}$ Zeit um auf Kiefer oder Föhre Schimmelindex 3 zu erreichen = Zeit um auf Kiefer oder Föhre Schimmelwachstum zu starten (M … Mould Index, pine … Kiefer, Föhre)

$t_{M=3}$ Zeit um Schimmelindex 3 zu erreichen

Tabelle 42: Faktor k1 (Ojanen 2011)

Sensibilitätsklasse	Material	k1 (M<1)	k1 (M≥1)
sehr sensibel	Kiefern-, Föhrensplintholz	1	2
sensibel	Geleimte Holzwerkstoffe, Fichte, PUR mit Papieroberfläche	0.578	0.386
mittel resistent	Beton, Glaswolle, Polyesterwolle	0.072	0.097
resistent	PUR mit glatter Oberfläche	0.033	0.014

$$k_2 = \max \begin{cases} 1 - e^{2.3 \cdot (M - M_{max})} \\ 0 \end{cases} \quad (49)$$

M Schimmel-Index (M … Mould Index)

M_{max} maximal möglicher Schimmel-Index (M … Mould Index)

$$M_{max} = A + B \cdot \frac{\varphi_{min} - \varphi}{\varphi_{min} - 100} - C \cdot \left(\frac{\varphi_{min} - \varphi}{\varphi_{min} - 100} \right)^2 \quad (50)$$

A, B, C Faktoren

φ_{min} mindeste relative Luftfeuchtigkeit um Schimmelwachstum zu starten in %

φ relative Luftfeuchtigkeit in %

Tabelle 43: Werte zur Berechnung des Faktors k2 (Ojanen 2011)

Sensibilitätsklasse	Material	A	B	C	φ_{min}
sehr sensibel	Kiefern-, Föhrensplintholz	1	7	2	80
sensibel	Geleimte Holzwerkstoffe, Fichte, PUR mit Papieroberfläche	0.3	6	1	80
mittel resistent	Beton, Glaswolle, Polyesterwolle	0	5	1.5	85
resistent	PUR mit glatter Oberfläche	0	3	1	85

Der Rückgang des Schimmelbefalls auf Holzoberflächen, in Zeiten in denen keine idealen Wachstumsbedingungen (Temperatur oder relative Luftfeuchtigkeit) herrschen, wird in folgender Weise berücksichtigt.

$$\frac{dM}{dt}_0 = \begin{cases} -0.00133 & \text{wenn } t - t_1 \le 6 \\ 0 & \text{wenn } 6 \le t - t_1 \le 24 \\ -0.000667 & \text{wenn } t - t_1 > 24 \end{cases} \quad (51)$$

M Schimmel-Index (M … Mould Index)

t Zeit von dem Moment t1 an, in dem die Bedingungen nicht mehr ideal für Schimmelwachstum waren (t … time) in h

t1 Moment in dem die Bedingungen nicht mehr ideal für Schimmelwachstum waren (t … time) in h

Der Rückgang des Schimmelbefalls für andere Materialen wird mit einem Faktor als linearer Zusammenhang zu Holzoberflächen ermittelt.

$$\frac{dM}{dt}_{mat} = C_{mat} \cdot \frac{dM}{dt}_0 \quad (52)$$

$\frac{dM}{dt}_{mat}$ Veränderung des Schimmel-Index für Holzoberflächen pro Zeiteinheit t in 1/h

C_{mat} Koeffizient für den Rückgang des Schimmel-Index

$\frac{dM}{dt}_0$ Veränderung des Schimmel-Index für andere Materialien pro Zeiteinheit t in

12.4. Energieverbrauch

Tabelle 44: Thermische Verbraucher im Haushalt [Statistik Austria 2008]

Durchschnittlicher Stromverbrauch der Haushalte 2008 nach Verbrauchskategorien

	Alle Haushalte[1]		Beitragende Haushalte[2]		
	Mittelwert in kWh	Median in kWh	Anzahl	Mittelwert in kWh	Median in kWh
Stromverbrauch insgesamt (Zählerablesung)	**4.417**	**3.765**	**3.548.352**	**4.417**	**3.765**
Kühl- und Gefriergeräte					
Kühlgeräte	310	263	3.548.352	310	263
Gefriergeräte	232	162	2.104.174	391	329
Haushaltsgroßgeräte					
Herd, Backrohr	341	271	3.287.639	368	291
Waschmaschine	179	163	3.144.140	202	175
Wäschetrockner	71	0	840.484	301	178
Geschirrspüler	176	141	2.457.191	254	222
Weitere Küchen- und Haushaltsgeräte	**157**	**135**	**3.548.352**	**157**	**135**
Kühl- und Klimageräte, Zusatzheizung					
Ventilatoren, Luftent- und Befeuchter, Klimageräte	4	0	397.422	33	7
Zusatzheizung	58	0	729.627	280	41
Büro- und Unterhaltungsgeräte, Kommunikation					
Bürogeräte (PC, Laptop & Co)	97	39	2.680.159	128	68
Unterhaltungsgeräte (Fernseher etc.)	184	153	3.514.068	186	154
Kommunikationsgeräte	28	35	1.942.356	51	35
Sonstige relevante Energieverbraucher					
Ladegeräte	17	3	3.303.368	19	4
Sonstige relevante Stromverbraucher	100	30	2.870.881	124	42
Stand-by Verbrauch					
Bürogeräte (PC, Laptop & Co)	13	0	1.679.900	27	10
Unterhaltungsgeräte (Fernseher etc.)	128	78	3.036.530	150	109
Herd, Backrohr	15	0	1.308.080	41	52
Küchen- und Haushaltsgeräte	31	29	1.845.658	60	35
Beleuchtung	**380**	**298**	**3.548.352**	**380**	**298**
Warmwasserbereitung	**756**	**0**	**1.423.228**	**1.884**	**1.612**
Heizung					
Umwälzpumpe	237	216	2.092.954	402	347
Heizung inklusive Hilfsenergie	670	160	1.992.424	1.194	220
Diffuser Stromverbrauch[3]	231	-	-	-	-

Q: STATISTIK AUSTRIA, Energiestatistik: Strom- und Gastagebuch 2008. Erstellt am: 11.02.2009. 1) „Alle Haushalte" beinhaltet alle teilnehmenden Haushalte, unabhängig davon, ob sie tatsächlich Eintragungen in der entsprechenden Auswertungsposition hatten oder nicht. 2) "Beitragende Haushalte" beinhaltet jene Haushalte, die in der Erhebung tatsächlich Eintragungen zu der betreffenden Position gemacht haben. 3) Diffuser Stromverbrauch: den Verbrauchskategorien nicht zuordenbarer Stromverbrauch.

Tabelle 45: Stromverbraucher im Büro – vollständige Liste [Quelle: eigene Recherchen]

Gerät	Anzahl	mögliche Substitution elektrischer durch thermische Energie
Büro		
Arbeitsplatz 1 Person	**193**	
Rechner/Notebook	0,4/0,7	—
Bildschirm	1,1	—
Telefon	1	—
Tischlampe	0,7	—
Gadget/Ladegerät	1	—
Server		
Switch Internet	1	—
Kabel Modem	1	—
W-Lan Router	1	—
Server	1	—
Gemeinschaftsgeräte		

Kopierer	2	—
Multifunktionsgeräte	2	—
Drucker	3	—
Fax	1	—
Küche	**1**	
Mikrowelle	2	✓
E-Herd	1	✓
Kühlschrank	1	✓
Kaffeemaschine	2	✓
Teekocher	2	✓
Geschirrspüler	1	✓
Toaster	1	✓
Telefon	1	—
Pausenraum		
Gadget	1	—
Wasserspender	1	—
Tischlampe	3	—
Radio	1	—
Konferenzraum		
Beamer	2	—
Telefon	2	—
Kaffeemaschine	1	✓
Kühlschrank	1	✓
Flatscreen	2	—
Besprechungsraum		
Beamer	1	—
Telefon	1	—
Sensoren		
Brandmelder	38	—
Hinweisschilder	8	—
Bewegungsmelder Allgemein	12	—

Tabelle 46: Stromverbrauch im Büro, Bestand [Quelle: eigene Recherchen]

Gebäudedaten:						
Bestand						
Weitere Geräte:	Leistung	Wahrscheinlichkeit	Stand-By	Anteil Betrieb in der Stunde	Durchschnittlicher Jahresenergiebedarf	Nutzung (von bis Uhrzeit)
Mikrowelle						11 h
1 Stück	600 W	40 %	5,00 W	30 min/h	131 kWh/a	14 h
E-Herd						12 h
1 Stück	2000 W	100 %	5,00 W	30 min/h	303 kWh/a	13 h
Kühlschrank						0 h
1 Stück	80 W	100 %	10,00 W	60 min/h	189 kWh/a	24 h
Kaffeemaschine						7 h
1 Stück	550 W	100 %	3,60 W	7 min/h	194 kWh/a	19 h
Teekocher						7 h
1 Stück	1500 W	40 %	0,00 W	4 min/h	117 kWh/a	19 h
Geschirrspüler						7 h
1 Stück	500 W	13 %	5,00 W	60 min/h	335 kWh/a	19 h

Toaster						0 h
1 Stück	800 W	100 %	0,00 W	15 min/h	0 kWh/a	0 h

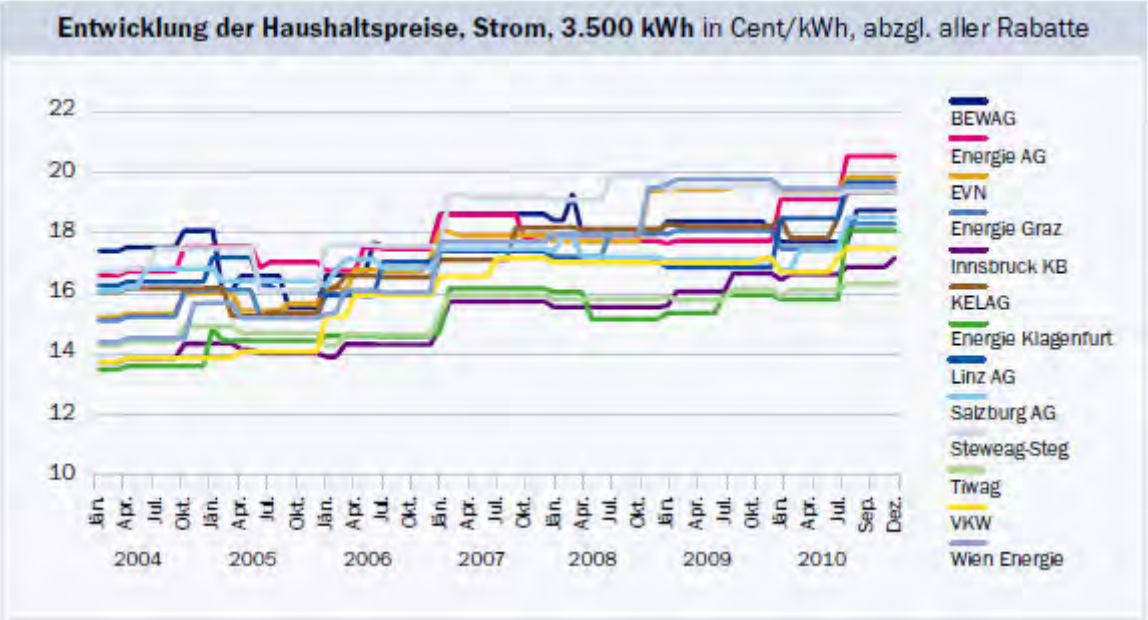


Abbildung 165: Strompreisentwicklung [Energie-Control Austria, 2011]

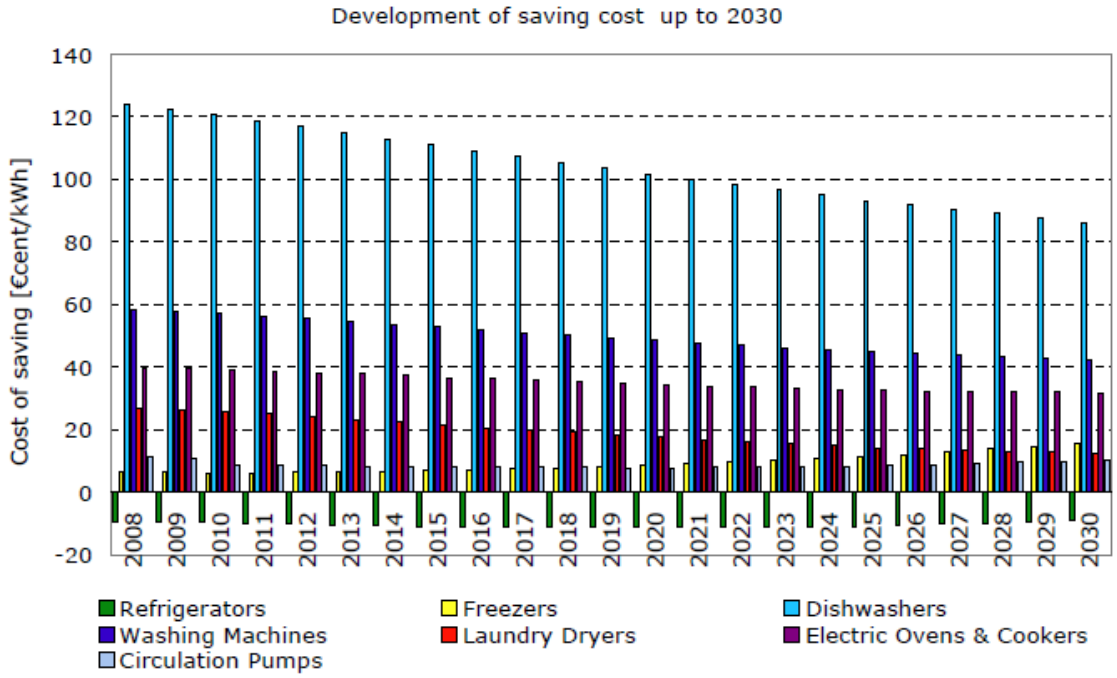


Figure 36: Development of saving cost up to 2030

Abbildung 166: Entwicklung der Kosteneinsparung bis 2030 [Suna, 2011]

12.5. Daten für die ökologische Bewertung

Ausgehend von der Datenrecherche erfolgt in den nachfolgenden Tabellen eine Auflistung der Baustoffe bzgl. ihrer Ökologie in Abhängigkeit von den Konstruktionen. Diese Daten dienten als Grundlage für die durchgeführte ökologische Bewertung.

OGD 1 Flachdach Stahlbeton-EPS	**Masse**	**Nutzungs-dauer**	**Kompostier-barkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Kies	108	100	nein	ggf. Absaugen -> Schüttung	ggf. Absaugen -> Schüttung/Zuschlagstoff
Polymerbitumen-Dichtungsbahn	8,8	50	nein	neue Bitumen (wenn lose verlegt)	Weiterverwertung --> Asphalt im Tiefbau, Fugenvergussmasse, Bautenschutzmatten oder Tritt- und Körperschalldämmung
PE-Folie	4,9	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Polystyrol EPS 20	7,2	50	nein	Wiederverwendung, wenn lose verlegt	Wiederverwertung durch Einschmelzen oder Weiterverwertung zu Granulat für Bodenauflockerung, als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff zu Mörtel und Beton (wenn sortenrein gesammelt)
Aluminium-Bitumendichtungsbahn	1,1	50	nein	neue Bitumen (wenn lose verlegt)	-
PE-Folie	4,9	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Stahlbeton	480	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in

					Zementindustrie

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	2	-	nein	Schüttung: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	-
sehr hoch (40 MJ/kg) - Verbrennung in Wirbelschichtofen ohne Bildung von Dioxinen	3 Baurestmassendeponie (Deponierfähig als Eluatklasse Ia bis Ib)	1-2 g VOC-Emissionen pro kg heiß verarbeitendes Bitumen - relativ gering (wurzelfeste Bahnen für Flachdächer enthalten Preventol B 2)	nein	Rückbaubei mechanischer Befestigung leicht möglich, jedoch meist geklebt	lose aufliegend
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose aufliegend, Folie verschweißt
(sehr hoch) 39,9 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	sollen in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen entsorgt werden, da bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine in geringen Mengen entstehen (Zusammensetzung: 86 – 93 M% Polystyrol, 0 – 12 M% Treibgas)	nein	sortenreine Trennung bei verklebten Platten nicht möglich; Rückbau: WDVS wird vor Ort von Tragschicht getrennt, durchschn. 1 cm des EPS und die Klebespachtel verbleiben am Ziegel Entsorgung: WDVS wird in MVA verbrannt (inkl. der anorganischen Bestandteile); Ziegel, Mörtel, Putz, EPS-Reste werden in Aufbereitungsanlage getrennt, Ziegel wird recycelt.	lose verlegt, Randbereich verklebt
sehr hoch (keine Trennung des Aluminiums)	3 nach thermischer Vorbehandlung	1-2 g VOC-Emissionen pro kg heiß verarbeitendes Bitumen - relativ gering (wurzelfeste Bahnen für Flachdächer enthalten Preventol B 2)	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verlegt
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose aufliegend, Folie verschweißt
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt

nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten

OGD 2 Flachdach Stahlbeton-Kork	**Masse**	**Nutzungs-dauer**	**Kompostier-barkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Kies	108	100	nein	ggf. Absaugen ->Schüttung	ggf. Absaugen ->Schüttung/Zuschlagstoff
PE-Folie	0,196	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Vlies (PP)	1,2	50	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Korkdämmplatten	50,4	50	ja (nach Zerkleinerung)	Dämmplatte/Hohlraumfüllung	Zerkleinerung/ggf. Reinigung ->Korkgranulat/Dämmplatte
PE-Folie	1,96	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Stahlbeton	480	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in Zementindustrie

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
nicht möglich	2	-	nein	Schüttung: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	-

möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verlegt
(sehr hoch) 43 - 44 MJ/kg	als Verunreinigung auf Deponie	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	verlegt, Klebeband
mittel (16,7 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	nein	verklebte und verputzte Platten nicht zerstörungsfrei und sortenrein rückbaubar; einfache schwimmende Verlegung möglich ->sauberer Rückbau	verlegt
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verlegt
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt
nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten

OGD 3 Flachdach Holz-Stroh (S-House)	**Masse**	**Nutzungs-dauer**	**Kompostier-barkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Blähton	40	80	nein	ggf. Absaugen -> Dämmschüttung	ggf. Absaugen, Reinigung & Trocknung ->Dämmschüttung/Zuschlag für Leichtbaustoffe
Gummi (EPDM)	5,65	(unbedeckt 20) 30	nein	nein (in der Regel vollflächig verklebt)	als Granulat für Straßenbeläge oder als Füllstoff für andere Produkte wie z.B. Polyurethan gebundene Matten oder Beläge von Sportplätzen möglich.
Kreuzlagenholz	50	100	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	12,8	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	6	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

MDF-Platte	18	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Baustrohballen	55	50	ja (nach Öffnung)	ggf. Zuschneiden/Abbinden ->Dämmmaterial	Öffnen, ggf. Verpressen -> neuer Baustrohballen, Düngemittel, Einstreu
Baupapier	0,1	50	nein	-	-
Kreuzlagenholz	50	100	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
nicht möglich	3	evtl. Blähhilfsmittel < 1Ma.-%	nein	loser Dämmstoff: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	-
PVC problematisch bei Verbrennung, kann mit Hausmüll verbrannt werden, keine Deponierung; negative Auswirkung auf die Recyclingfähigkeit anderer Kunststoffe; getrennte Sammlung und stoffliches Recycling von PVC-Abfällen sinnvoll. (Schadstoffverschleppung, z.B. von Cadmium zu beachten)	-	ca. 35 % Kautschuk, 50 - 60 % anorganischen Füllstoffen wie z.B. Ton und Kaolin, 5 % Pigmente, 1,5 % Schwefel und Verarbeitungshilfsmitteln (ZWIENER, MÖTZL, 2006)	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verlegt
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. mit PUR-Klebstoff (Anteil jedoch sehr gering)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Randbereich verschweißt/verklebt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Harnstoff- oder Phenolharz	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung

mittel (17,5 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Ballengarn(Hanf, Sisal, PP)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	mechanische Befestigung
hoch	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Imprägnierung (mit Ölen auf Naturharzbasis möglich) und/oder Kunststoffbeschichtung/Fungizid behandelt; Altpapier (kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten); evtl. mit Polyesterfaden verstärkt	ja	Rückbau nicht möglich(Verklebung und Verschleißerscheinung)	lose verlegt
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. mit PUR-Klebstoff (Anteil jedoch sehr gering)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt

OGD 4 Flachdach Schnellbaudämmpaneel	Masse	Nutzungs-dauer	Kompostier-barkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Stahlblech, verzinkt	4,68	30	nein	ggf. Zuschneiden -> Wiederverwenden	ggf. Reinigung bzw. Trennung von Stahl und Zink, Einschmelzen -> Beimischung neue Produkte
Steinwolle Klemmfilz	7,2834	50	nein	Klemmfilz	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen ->neue Produkte aus Steinwolle
Stahlblech, verzinkt	4,68	30	nein	ggf. Zuschneiden -> Wiederverwenden	ggf. Reinigung bzw. Trennung von Stahl und Zink, Einschmelzen -> Beimischung neue Produkte

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	3	Verzinkung als Korrosionsschutz	nein	Rückbau möglich (teilweise sehr hoher Aufwand)	
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	
nicht möglich	3	Verzinkung als Korrosionsschutz	nein	Rückbau möglich (teilweise sehr hoher Aufwand)	Gesamtelement demontier und recycelbar

OGD 5 Flachdach Holz-Mineralwolle	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Gummi (EPDM)	1,808	(unbedeckt 20) 30	nein	nein (in der Regel vollflächig verklebt)	als Granulat für Straßenbeläge oder als Füllstoff für andere Produkte wie z.B. Polyurethan gebundene Matten oder Beläge von Sportplätzen möglich.
OSB-Platte	10,98	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	11,1	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Glaswolle TDPS 40-70 kg/m3	15,4904	50	nein	Dämmvlies, Stopfwolle	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Glaswolle
PE-Folie	0,098	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
OSB-Platte	9,15	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
PVC problematisch bei Verbrennung, kann mit Hausmüll verbrannt werden, keine Deponierung; negative Auswirkung auf die Recyclingfähigkeit anderer Kunststoffe; getrennte Sammlung und stoffliches Recycling von PVC-Abfällen sinnvoll. (Schadstoffverschleppung, z.B. von Cadmium zu beachten)	-	ca. 35 % Kautschuk, 50 - 60 % anorganischen Füllstoffen wie z.B. Ton und Kaolin, 5 % Pigmente, 1,5 % Schwefel und Verarbeitungshilfsmitteln	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	-
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	geklebt

(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung (Schrauben/Nägel)
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verlegt
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verlegt
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	geklammert/ an den Rändern geklebt; mechanische Befestigung

OGD 6 Flachdach Holz-Stroh	**Masse**	**Nutzungsdauer**	**Kompostierbarkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Gummi (EPDM)	2,26	(unbedeckt 20) 30	nein	nein (in der Regel vollflächig verklebt)	als Granulat für Straßenbeläge oder als Füllstoff für andere Produkte wie z.B. Polyurethan gebundene Matten oder Beläge von Sportplätzen möglich.
OSB-Platte	10,98	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	12,95	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Baustrohballen	35,651	50	ja (nach Öffnung)	ggf. Zuschneiden/Abbinden -> Dämmmaterial	Öffnen, ggf. Verpressen -> neuer Baustrohballen, Düngemittel, Einstreu
Baupapier	0,025	50	nein	-	-

OSB-Platte	9,15	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
PVC problematisch bei Verbrennung, kann mit Hausmüll verbrannt werden, keine Deponierung; negative Auswirkung auf die Recyclingfähigkeit anderer Kunststoffe; getrennte Sammlung und stoffliches Recycling von PVC-Abfällen sinnvoll. (Schadstoffverschleppung, z.B. von Cadmium zu beachten)	-	ca. 35 % Kautschuk, 50 - 60 % anorganischen Füllstoffen wie z.B. Ton und Kaolin, 5 % Pigmente, 1,5 % Schwefel und Verarbeitungshilfsmitteln (ZWIENER, MÖTZL, 2006)	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	-
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	geklebt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung (Schrauben/Nägel)
mittel (17,5 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Ballengarn(Hanf, Sisal, PP)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	lose verlegt
hoch	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Imprägnierung (mit Ölen auf Naturharzbasis möglich) und/oder Kunststoffbeschichtung/Fungizid behandelt; Altpapier (kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten); evtl. mit Polyesterfaden verstärkt	ja	Rückbau nicht möglich(Verklebung und Verschleißerscheinung)	lose verlegt
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose aufliegend, Randbereich verklebt/vernagelt

OGD 7 Schrägdach Porenbeton-Glaswolle	Masse	Nutzungs-dauer	Kompostier-barkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Dachziegel	45	70	nein	Dachziegel (abhängig von Art der Befestigung)	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff
Holz - Schnittholz, Nadel rau, lufttrocken	2,25	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rau, lufttrocken	4,775	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
PE-Folie	0,098	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Holz - Schnittholz, Nadel rau, lufttrocken	12,5	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rau, technisch getrocknet	10	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Glaswolle MW-W Dämmfilz	3,6	50	nein	Dämmvlies, Stopfwolle	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Glaswolle
Holz - Schnittholz, Nadel rau, technisch getrocknet	8	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Glaswolle MW-W Dämmfilz	2,88	50	nein	Dämmvlies, Stopfwolle	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Glaswolle
PE-Folie	1,96	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Porenbeton 600kg	144	100	nein	-	Zerkleinerung -> Beimischung neuer Porenbeton (nicht wenn mit Bitumenbahnen

					verklebt)
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in Zementindustrie

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
nicht möglich	2 - 3	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich(nicht bei Mörtel)	-
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Klammern
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung (Schrauben/Nägel)
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose aufliegend, Randbereich verklebt/ vernagelt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Randbereich verklebt/ vernagelt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung (Schrauben/Nägel)
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verklemmt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose verklemmt
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verklemmt

möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verlegt
nicht möglich	2 - 3	Treibmittel Aluminiumpulver	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt
nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten

OG0 8 Schrägdach Holz-Zellulose	**Masse**	**Nutzungs-dauer**	**Kompostier-barkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Dachziegel	45	70	nein	Dachziegel (abhängig von Art der Befestigung)	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	2,25	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	2,5	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Dachauflegebahn PE, diffusionsoffen	0,98	(PE-Bahn Dächer) 50	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Holz - Schnittholz, Nadel rau, lufttrocken	12	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
OSB-Platte	1,952	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Zellulosefaserflocken	2,024	50	nein	Absaugen -> Einblasdämmung, Hohlraumfüllung	Absaugen, Reinigung, ggf. Trocknung -> neues Dämmmaterial, Sekundärmaterial
Holz - Furniersperrholz	1,82	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Zellulosefaserflocken	15,246	50	nein	Absaugen -> Einblasdämmung, Hohlraumfüllung	Absaugen, Reinigung, ggf. Trocknung -> neues Dämmmaterial, Sekundärmaterial
OSB-Platte	1,952	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Zellulosefaserflocken	2,024	50	nein	Absaugen -> Einblasdämmung, Hohlraumfüllung	Absaugen, Reinigung, ggf. Trocknung -> neues Dämmmaterial, Sekundärmaterial
OSB-Platte	10,98	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	2,5	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Schafwolle - Dämmfilz	1,35	50	ja (nach Zerkleinerung)	ggf. Zuschneiden -> Dämmfilz, Hohlraumdämmung	ggf. Zuschneiden, Reinigen -> Dämmfilz, Stopfwolle
Gipsfaserplatte	14,75	60	nein	-	Zerkleinerung, Zermahlung, Trennung/Absaugung von Fasern ->Schüttung, Zuschlagstoff (bedingt möglich, da durch Reaktion des Sulfatgehaltes Volumen - und Festigkeitsänderungen auftreten können)
Gipsfaserplatte	14,75	60	nein	-	Zerkleinerung, Zermahlung, Trennung/Absaugung von Fasern ->Schüttung, Zuschlagstoff (bedingt möglich, da durch Reaktion des Sulfatgehaltes Volumen - und Festigkeitsänderungen auftreten können)

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
nicht möglich	2 - 3	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich(nicht bei Mörtel)	-
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Klammern
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose aufliegend, Randbereich verklebt/vernagelt

(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Randbereich verklebt/vernagelt
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
hoch (24,7 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Brandschutzmittel: Borsalzmischung/Ammoniumpolyphosphat; kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten	ja	loser Dämmstoff: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	lose eingeblasen
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Harnstoffharze, Malminharz, Pfenol- und resorcinharz	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose eingeblasen
hoch (24,7 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Brandschutzmittel: Borsalzmischung/Ammoniumpolyphosphat; kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten	ja	loser Dämmstoff: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	lose eingeblasen
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose eingeblasen
hoch (24,7 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Brandschutzmittel: Borsalzmischung/Ammoniumpolyphosphat; kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten	ja	loser Dämmstoff: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	lose eingeblasen
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose eingeblasen
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung (Schrauben/Nägel)
hoch (20,3 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Mottenschutzmittel: Mitin/Eulan lt. Hersteller Chlor des Mittels -> vollständige Umsetzung in Salzsäure; evtl. Brandschutzmittel	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	verklemmt
nicht möglich	3	Zellulosefasern/Glasfasern	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	(mechanische Befestigung); lose verlegt
nicht möglich	3	Zellulosefasern/Glasfasern	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	mechanische Befestigung

OGD 9 Schrägdach Holz-Stroh	Masse	Nutzungs-dauer	Kompostier-barkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Dachziegel	54	70	nein	Dachziegel (abhängig von Art der Befestigung)	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	0,98	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	0,98	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
PE-Folie	0,98	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	12	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	16	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Baustrohballen	40,48	50	ja (nach Öffnung)	ggf. Zuschneiden/Abbinden -> Dämmmaterial	Öffnen, ggf. Verpressen ->neuer Baustrohballen, Düngemittel, Einstreu
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	10	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Baupapier	0,5	50	nein	-	-
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, technisch getrocknet	2,496	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Flachs ohne Stützgitter	0,94016	50	ja (wenn stärkegebunden nach Zerkleinerung bei Mischung mit anderen Materialien)	ggf. Zuschneiden -> Dämmmatte, Sockeldämmung	Zerfaserung ggf. Reinigung/Zerkleinerung ->Dämmmatte/Hohlraumflocken
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	12	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	2 - 3	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich(nicht bei Mörtel)	-
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Klammern
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose aufliegend, Randbereich verklebt/vernagelt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose aufliegend, Randbereich verklebt/vernagelt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
mittel (17,5 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Ballengarn(Hanf, Sisal, PP)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	verklemmt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt
hoch	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Imprägnierung (mit Ölen auf Naturharzbasis möglich) und/oder Kunststoffbeschichtung/Fungizid behandelt; Altpapier (kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten); evtl. mit Polyesterfaden verstärkt	ja	Rückbau nicht möglich(Verklebung und Verschleißerscheinung)	lose aufliegend, Randbereich verklebt/vernagelt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Randbereich verklebt/vernagelt
mittel (12,3 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Brand- und Pilzschutzmittel: Soda (Carbonate)/Borsalz/Ammoniumpolyphosphat (1%); Stützfasern: Kartoffelstärke/Polyester	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht	(mechanische Befestigung); lose

	möglich			möglich	verklemmt

AW1 Hochlochziegel-EPS	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Kalk-Zementputz	27	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff
Ziegel - Hochlochziegel 800 kg/m³	200	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff
Polystyrol EPS F (f. Fassaden)	5,4	50	nein	Wiederverwendung, wenn lose verlegt	Wiederverwertung durch Einschmelzen oder Weiterverwertung zu Granulat für Bodenauflockerung, als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff zu Mörtel und Beton (wenn sortenrein gesammelt)
Silikatputz armiert	3,6	50	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	2 - 3	Zugabe von Fasern, sowie Zusätze aus Kunststoff und mineralische Zusätze möglich	nein	Rückbau nicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	-	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten
(sehr hoch) 39,9 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	sollen in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen entsorgt werden, da bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine in geringen Mengen entstehen (Zusammensetzung: 86 – 93 M% Polystyrol, 0 – 12 M% Treibgas)	nein	sortenreine Trennung bei verklebten Platten nicht möglich; Rückbau: WDVS wird vor Ort von Tragschicht getrennt, durchschn. 1 cm des EPS und die Klebespachtel verbleiben am Ziegel Entsorgung: WDVS wird in MVA verbrannt (inkl. Der anorganischen Bestandteile); Ziegel, Mörtel, Putz, EPS-Reste werden in Aufbereitungsanlage getrennt, Ziegel wird recycelt.	verklebt mit Spachtel/ Mörtel

nicht möglich	3	Zusatzstoffe enthalten Kunstharzputze Filmbildner, Entschäumer, Verdickungsmittel, eventuell Fungizide, Konservierungsstoffe und Wasser oder Lösungsmittel zur Einstellung der Verarbeitungskonsistenz/ evtl. kritisch Zusatzstoffe von Kunstharzputzen	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

AW2 Hochlochziegel-Hanf	**Masse**	**Nutzungsdauer**	**Kompostierbarkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Kalk-Zementputz	27	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff
Schilfrohrplatte (Drahtgebunden)	2,8	50	ja (nach Zerkleinerung)	ggf. Zuschneiden -> Dämmplatte	ggf. Öffnen -> neue Schilfrohrprodukte(Dämmplatte/Sichtschutzmatte)
Ziegel - Hochlochziegel 1200 kg/m³	300	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff
Holzstegträger (B60 cm x H240 cm) (Hartfaserplatten + technisch getrocknetes Nadelholz)	3,28125	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Hanfdämmplatte mit Stützfasern	7,3125	50	ja (wenn stärkegebunden nach Zerkleinerung bei Mischung mit anderen organischen Materialien/mit Ammoniumsalzen behandelter Hanf ist kompostierfähig)	ggf. Zuschneiden -> Dämmmatte, Sockeldämmung	Zerfaserung/Zerkleinerung- >Dämmmatte/Hohlraumflocken
Holzfaserplatte porös 250 kg/m3	15	50	ja, wenn Nasserverfahren und keine Zusatzstoffe enthalten	Wiederverwendung	Weiterverwertung, wenn Nassverfahren
Kalkputz	14	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	2 - 3	Zugabe von Fasern, sowie Zusätze aus Kunststoff und mineralische Zusätze möglich	nein	Rückbau nicht möglich	-
mittel (18,0 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	verzinkter Draht 4%	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	Verbindung durch erhärten
nicht möglich	2 - 3	-	nein	Rückbau nicht möglich	mechanische Befestigung (Dübel)
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze bei OSB-Platten als Steg	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
mittel (16,9 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Brand- und Pilzschutzmittel: Soda(Carbonate)/Borsalz/Ammoniumpolyphosphat; Stützfasern: Kartoffelstärke/Polyester	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	verklemmt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel (Polyurethanharz bei Trockenverfahren)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose verlegt
nicht möglich	2 -3	Zugabe von Fasern/Kunststoffzusätzen möglich	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

AW3 Holz-Stroh (S-House)	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Kreuzlagenholz	50	100	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Baustrohballen	55	50	ja (nach Öffnung)	ggf. Zuschneiden/Abbinden -> Dämmmaterial	Öffnen, ggf. Verpressen ->neuer Baustrohballen, Düngemittel, Einstreu
Lehmputz	32	100	ja (wenn ausschließlich natürliche Zusatzstoffe)	Befeuchtung mit Wasser(Einsumpfen), Reinigung ->	Befeuchtung mit Wasser -> neue Lehmprodukte

				Lehmputz	
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	3,625	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	11,5	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. mit PUR-Klebstoff (Anteil jedoch sehr gering)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
mittel (17,5 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Ballengarn(Hanf, Sisal, PP)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	mechanische Befestigung (Holzdübel mit Hanfschur); Randbereich verputzt
nicht möglich	3	Hanffasern, Flachsschäben etc. möglich	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung (Treeplastschraube)
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung (Holzdübel)

AW4 Holz-Stroh	**Masse**	**Nutzungsdauer**	**Kompostierbarkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
OSB-Platte	14,03	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holzstegträger (B60 cm x H240 cm) (Hartfaserplatten + technisch getrocknetes Nadelholz)	5,25	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Baustrohballen	42,9	50	ja (nach Öffnung)	ggf. Zuschneiden/Abbinden -> Dämmmaterial	Öffnen, ggf. Verpressen -> neuer Baustrohballen, Düngemittel, Einstreu
Holzfaserplatte porös 250 kg/m3	5,5	50	ja, wenn Nasserverfahren und keine Zusatzstoffe enthalten	Wiederverwendung	Weiterverwertung, wenn Nassverfahren
Kalkputz	42	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze bei OSB-Platten als Steg	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
mittel (17,5 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Ballengarn(Hanf, Sisal, PP)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	verklemmt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel (Polyurethanharz bei Trockenverfahren)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose verlegt
nicht möglich	2 -3	Zugabe von Fasern/Kunststoffzusätzen möglich	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

AW5 STB-Steinwolle-Alu	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in Zementindustrie
Stahlbeton	432	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Steinwolle Klemmfilz	9,76	50	nein	Klemmfilz	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Steinwolle
Aluminiumblech	0,00065	40	nein	ggf. Zuschneiden -> Wiederverwenden	ggf. Reinigung, Einschmelzen -> Beimischung neue Produkte (hauptsächlich Gusslegierungen)
Aluminiumblech	21,6	40	nein	ggf. Zuschneiden -> Wiederverwenden	ggf. Reinigung, Einschmelzen -> Beimischung neue Produkte (hauptsächlich Gusslegierungen)

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	geklemmt
nicht möglich	3	evtl. Korrosionsschutz durch Eloxieren oder Pulverbeschichtung	nein	Rückbau möglich (teilweise sehr hoher Aufwand)	(mechanische Befestigung mit Systemschienen/Profilen); mechanische Befestigung
nicht möglich	3	evtl. Korrosionsschutz durch Eloxieren oder	nein	Rückbau möglich (teilweise sehr hoher	mechanische Befestigung mit Systemschienen/Profilen

		Pulverbeschichtung		Aufwand)	

AW6 Schüco Passivhausfasade	**Masse**	**Nutzungsdauer**	**Kompostierbarkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Schüco Passivhausfassade (Rahmen + Glas) m²	50,02	-	nein	-	-
Rahmenkonstruktion m²	8,91	50	nein	ggf. Zuschneiden -> Wiederverwenden	ggf. Reinigung, Einschmelzen -> Beimischung neue Produkte
3-fach Wärmeschutzglas: G96; Ug=0,6 W/m2K; 4/14/4/14/4 AR	41,11	40	nein	-	Einschmelzen ->Beimischung neue Produkte (jedoch nur 50 %)

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
nicht möglich		-	nein		-
nicht möglich	3	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	mechanische Befestigung
nicht möglich	2-3	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	mechanische Befestigung

AW7 Schnellbaudämmpaneel	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Stahlblech, verzinkt	4,68	30	nein	ggf. Zuschneiden -> Wiederverwenden	ggf. Reinigung bzw. Trennung von Stahl und Zink, Einschmelzen -> Beimischung neue Produkte
Steinwolle Klemmfilz	6,6734	50	nein	Klemmfilz	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Steinwolle
Stahlblech, verzinkt	4,68	30	nein	ggf. Zuschneiden -> Wiederverwenden	ggf. Reinigung bzw. Trennung von Stahl und Zink, Einschmelzen -> Beimischung neue Produkte

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	3	Verzinkung als Korrosionsschutz	nein	Rückbau möglich (teilweise sehr hoher Aufwand)	
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	
nicht möglich	3	Verzinkung als Korrosionsschutz	nein	Rückbau möglich (teilweise sehr hoher Aufwand)	Gesamtelement demontierbar und recycelbar

AW8 Hallenwand Holz-Mineralwolle	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
OSB-Platte	10,98	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	11,1	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Glaswolle MW-W Dämmfilz	5,556	50	nein	Dämmvlies, Stopfwolle	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Glaswolle
OSB-Platte	10,98	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	2,5	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	7,5	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	verklemmt

(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose verlegt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung

AW9 Hallenwand Holz-Stroh	**Masse**	**Nutzungsdauer**	**Kompostierbarkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
OSB-Platte	10,98	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	17,325	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Baustrohballen	34,6885	50	ja (nach Öffnung)	ggf. Zuschneiden/Abbinden -> Dämmmaterial	Öffnen, ggf. Verpressen ->neuer Baustrohballen, Düngemittel, Einstreu
OSB-Platte	10,98	60	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz Nadel gehobelt, techn. getrocknet	2,5	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	7,5	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
mittel (17,5 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Ballengarn(Hanf, Sisal, PP)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	lose verlegt
(mittel) 17 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Kunstharze wie Harnstoff, Melamin oder Phenolharze	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose verlegt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung

IW1 Stahlbeton-Trennwand	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in Zementindustrie
Stahlbeton	432	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Steinwolle Klemmfilz	2,135	50	nein	Klemmfilz	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Steinwolle
Stahlbeton	432	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in Zementindustrie

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	geklemmt
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	geklemmt
nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

IW2 Ziegel-Trennwand	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Kalkputz	21	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff
Ziegel - Hochlochziegel 800 kg/m³	200	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff
Steinwolle Klemmfilz	2,135	50	nein	Klemmfilz	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Steinwolle
Ziegel - Hochlochziegel 800 kg/m³	200	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff
Kalkputz	21	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
nicht möglich	2 -3	Zugabe von Fasern/Kunststoffzusätzen möglich	nein	Rückbau nicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	-	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	geklemmt
nicht möglich	2 - 3	-	nein	Rückbau nicht möglich	geklemmt
nicht möglich	2 -3	Zugabe von Fasern/Kunststoffzusätzen möglich	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

UGD Keller 1	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Fertigparkett	7,4	25	nein	-	-
Zementestrich	120	60	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (möglich, wegen Zusatzstoffen und hohem Feinanteil nur eigeschränkte Verwertung)
PE-Folie	0,196	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Polystyrol, expandiert (EPS) Trittschalldämmung	0,4	50	nein	Wiederverwendung, wenn lose verlegt	Wiederverwertung durch Einschmelzen oder Weiterverwertung zu Granulat für Bodenauflockerung, als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff zu Mörtel und Beton (wenn sortenrein gesammelt)
Stahlbeton	480	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Polystyrol EPS30	6	50	nein	Wiederverwendung, wenn lose verlegt	Wiederverwertung durch Einschmelzen oder Weiterverwertung zu Granulat für Bodenauflockerung, als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff zu Mörtel und Beton (wenn sortenrein gesammelt)
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in Zementindustrie

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. wasserbasierte Einkomponenten-Acrylat-Dispersionslacke zur Versiegelung und PVAC-Dispersionskleber für die Verlegung	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Parkett verleimt
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
(sehr hoch) 39,9 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	sollen in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen entsorgt werden, da bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine in geringen Mengen entstehen (Zusammensetzung: 86 – 93 M% Polystyrol, 0 – 12 M% Treibgas)	nein	sortenreine Trennung bei verklebten Platten nicht möglich; Rückbau: WDVS wird vor Ort von Tragschicht getrennt, durchschn. 1 cm des EPS und die Klebespachtel verbleiben am Ziegel Entsorgung: WDVS wird in MVA verbrannt (inkl. der anorganischen Bestandteile); Ziegel, Mörtel, Putz, EPS-Reste werden in Aufbereitungsanlage getrennt, Ziegel wird recycelt.	lose verlegt, Randbereich verklebt
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt
(sehr hoch) 39,9 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	sollen in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen entsorgt werden, da bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine in geringen Mengen entstehen (Zusammensetzung: 86 – 93 M% Polystyrol, 0 – 12 M% Treibgas)	nein	sortenreine Trennung bei verklebten Platten nicht möglich; Rückbau: WDVS wird vor Ort von Tragschicht getrennt, durchschn. 1 cm des EPS und die Klebespachtel verbleiben am Ziegel Entsorgung: WDVS wird in MVA verbrannt (inkl. der anorganischen Bestandteile); Ziegel, Mörtel, Putz, EPS-Reste werden in Aufbereitungsanlage getrennt, Ziegel wird recycelt.	verklebt

nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

UGD Keller 2	**Masse**	**Nutzungsdauer**	**Kompostierbarkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Fertigparkett	7,4	25	nein	-	-
Zementestrich	100	60	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (möglich, wegen Zusatzstoffen und hohem Feinanteil nur eigeschränkte Verwertung)
Baupapier unter Estrich/Beton	0,45	50	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	5,6	50	ja, wenn Nasserverfahren und keine Zusatzstoffe enthalten	Wiederverwendung	Weiterverwertung, wenn Nassverfahren
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	4,8	50	ja, wenn Nasserverfahren und keine Zusatzstoffe enthalten	Wiederverwendung	Weiterverwertung, wenn Nassverfahren
Schafwolle - Trittschalldämmung	0,45	50	ja (nach Zerkleinerung)	ggf. Zuschneiden -> Trittschalldämmung	Reinigung, ggf. Öffnen -> neue Produkte aus Schafwolle
Hanf-Lehmschüttung	18,55	100(200/theoretische Nutzungsdauer, jedoch Betrachtungszeitraum 100 Jahre)	ja	ggf. Absaugen -> Schüttung	-
Ziegelhohlkörper ohne Aufbeton	227	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff
Schilfrohrplatte (Drahtgebunden)	28	50	ja (nach Zerkleinerung)	ggf. Zuschneiden -> Dämmplatte	ggf. Öffnen -> neue Schilfrohrprodukte(Dämmplatte/Sichtschutzmatte)
Kalkputz	42	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. wasserbasierte Einkomponenten-Acrylat-Dispersionslacke zur Versiegelung und PVAC-Dispersionskleber für die Verlegung	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Parkett mit Nut und Feder System
hoch	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Imprägnierung (mit Ölen auf Naturharzbasis möglich) und/oder Kunststoffbeschichtung/Fungizid behandelt; Altpapier (kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten); evtl. mit Polyesterfaden verstärkt	ja	sortenreine Trennung unter Beton/Estrich nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel (Polyurethanharz bei Trockenverfahren)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel (Polyurethanharz bei Trockenverfahren)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt
hoch (20,3 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Mottenschutzmittel: Mitin/Eulan lt. Hersteller Chlor des Mittels -> vollständige Umsetzung in Salzsäure; evtl. Brandschutzmittel	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt
gering	nach thermischer Vorbehandlung möglich (da Hanf der größere Anteil hat, doch in der Regel Kompostierung)	-	nein	lose Schüttung: kann abgesaugt, eingesammelt und wiederverwendet werden	lose verlegt
nicht möglich	2 - 3	-	nein	Rückbau nicht möglich	lose aufliegend
mittel (18,0 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	verzinkter Draht 4%	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	mechanische Befestigung
nicht möglich	2 -3	Zugabe von Fasern/Kunststoffzusätzen möglich	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

UGD Keller 3	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Holzdielenboden	18,9	(Holzboden) 25	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	4,8	50	ja, wenn Nasserverfahren und keine Zusatzstoffe enthalten	Wiederverwendung	Weiterverwertung, wenn Nassverfahren
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	2,4	50	ja, wenn Nasserverfahren und keine Zusatzstoffe enthalten	Wiederverwendung	Weiterverwertung, wenn Nassverfahren
Brettschichtholz Standard	5,0436	100	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatte
Zellulosefaserplatten	0,6396	50	nein	Wiederverwendung	Zerkleinerung -> neues Dämmmaterial
Brettschichtholz Standard	28,3703	100	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatte
Zellulosefaserplatten	3,59775	50	nein	Wiederverwendung	Zerkleinerung -> neues Dämmmaterial
Schafwolle - Trittschalldämmung	0,45	50	ja (nach Zerkleinerung)	ggf. Zuschneiden -> Trittschalldämmung	Reinigung, ggf. Öffnen -> neue Produkte aus Schafwolle
Brettschichtholz Standard	17,55	100	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatte
Schilfrohrplatte (Drahtgebunden)	28	50	ja (nach Zerkleinerung)	ggf. Zuschneiden -> Dämmplatte	ggf. Öffnen -> neue Schilfrohrprodukte (Dämmplatte/Sichtschutzmatte)
Kalkputz	42	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Acryl-Lack (Polymere aus Acryl- und Methacrylsäure, häufig gemischt mit Alkyd- oder Epoxidharzen), Alkydhar-Lack-Beschichtung und Polyurethan zur Versiegelung	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-

(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel (Polyurethanharz bei Trockenverfahren)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Holzdielen mit Nut und Feder System
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel (Polyurethanharz bei Trockenverfahren)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig Bindemittel z.B. Polykondensationsklebstoffe wie Melaminharz- und Phenol-Resorcinharzklebstoffe sowie Polyurethanklebstoffe aus der Gruppe der Polyadditionsklebstoffe	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt
hoch (20,3 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Brandschutzmittel: Borsalzmischung/Ammoniumpolyphosphat; kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt; (mechanische Befestigung)
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig Bindemittel z.B. Polykondensationsklebstoffe wie Melaminharz- und Phenol-Resorcinharzklebstoffe sowie Polyurethanklebstoffe aus der Gruppe der Polyadditionsklebstoffe	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose verlegt
hoch (24,7 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Brandschutzmittel: Borsalzmischung/Ammoniumpolyphosphat; kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt
hoch (20,3 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Mottenschutzmittel: Mitin/Eulan lt. Hersteller Chlor des Mittels -> vollständige Umsetzung in Salzsäure; evtl. Brandschutzmittel	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig Bindemittel z.B. Polykondensationsklebstoffe wie Melaminharz- und Phenol-Resorcinharzklebstoffe sowie Polyurethanklebstoffe aus der Gruppe der Polyadditionsklebstoffe	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose verlegt
mittel (18,0 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	verzinkter Draht 4%	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich/nicht bei Putzauftrag	mechanische Befestigung
nicht möglich	2 -3	Zugabe von Fasern/Kunststoffzusätzen möglich	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

Trenndecke 1 STB-EPS	Masse	Nutzungsdauer	Kompostier-barkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Fertigparkett	7,4	25	nein	-	-
Zementestrich	120	60	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (möglich, wegen Zusatzstoffen und hohem Feinanteil nur eigeschränkte Verwertung)
PE-Folie	0,196	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Polystyrol, expandiert (EPS) Trittschalldämmung	0,4	50	nein	Wiederverwendung, wenn lose verlegt	Wiederverwertung durch Einschmelzen oder Weiterverwertung zu Granulat für Bodenauflockerung, als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff zu Mörtel und Beton (wenn sortenrein gesammelt)
Stahlbeton	480	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in Zementindustrie

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. wasserbasierte Einkomponenten-Acrylat-Dispersionslacke zur Versiegelung und PVAC-Dispersionskleber für die Verlegung	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Parkett verleimt

möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
(sehr hoch) 39,9 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	sollen in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen entsorgt werden, da bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine in geringen Mengen entstehen (Zusammensetzung: 86 – 93 M% Polystyrol, 0 – 12 M% Treibgas)	nein	sortenreine Trennung bei verklebten Platten nicht möglich; Rückbau: WDVS wird vor Ort von Tragschicht getrennt, durchschn. 1 cm des EPS und die Klebespachtel verbleiben am Ziegel Entsorgung: WDVS wird in MVA verbrannt (inkl. der anorganischen Bestandteile); Ziegel, Mörtel, Putz, EPS-Reste werden in Aufbereitungsanlage getrennt, Ziegel wird recycelt.	lose verlegt, Randbereich verklebt
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt
nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten

Trenndecke 2 Ziegelhohldecke-Schafwolle	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Fertigparkett	7,4	25	nein	-	-
Zementestrich	100	60	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff (möglich, wegen Zusatzstoffen und hohem Feinanteil nur eigeschränkte Verwertung)
Baupapier unter Estrich/Beton	0,45	50	nein	-	-
Schafwolle - Trittschalldämmung	0,36	50	ja (nach Zerkleinerung)	ggf. Zuschneiden -> Trittschalldämmung	Reinigung, ggf. Öffnen -> neue Produkte aus Schafwolle
Hanf-Lehmschüttung	13,25	100(200/theoretische Nutzungsdauer, jedoch Betrachtungszeitraum 100 Jahre)	ja	ggf. Absaugen -> Schüttung	-
Ziegelhohlkörper ohne Aufbeton	227	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff
Kalkputz	21	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. wasserbasierte Einkomponenten-Acrylat-Dispersionslacke zur Versiegelung und PVAC-Dispersionskleber für die Verlegung	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Parkett mit Nut und Feder System
hoch	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Imprägnierung (mit Ölen auf Naturharzbasis möglich) und/oder Kunststoffbeschichtung/Fungizid behandelt; Altpapier (kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten); evtl. mit Polyesterfaden verstärkt	ja	sortenreine Trennung unter Beton/Estrich nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten

hoch (20,3 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Mottenschutzmittel: Mitin/Eulan lt. Hersteller Chlor des Mittels -> vollständige Umsetzung in Salzsäure; evtl. Brandschutzmittel	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt
gering	nach thermischer Vorbehandlung möglich (da Hanf der größere Anteil hat, doch in der Regel Kompostierung)	wird geschüttet und somit lose verlegt, Rückbau erfolgt durch einfache Entnahme (herausschaufeln) und anschließender Kompostierung	nein	lose Schüttung: kann abgesaugt, eingesammelt und wiederverwendet werden	lose verlegt
nicht möglich	2 - 3	-	nein	Rückbau nicht möglich	lose aufliegend
nicht möglich	2 -3	Zugabe von Fasern/Kunststoffzusätzen möglich	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten

Trendecke 3 Holz-Splitt-Schafwolle (S-House)	**Masse**	**Nutzungsdauer**	**Kompostierbarkeit**	**Produktrecycling**	**Materialrecycling**
Holzdielenboden	18,9	25 (Holzboden)	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Holz - Schnittholz, Nadel rauh, lufttrocken	2,275	60	ja	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten
Splitt	77,265	60	nein	ggf. Absaugen -> Schüttung	ggf. Absaugen ->Schüttung/Zuschlagstoff
Schafwolle - Trittschalldämmung	0,45	50	ja (nach Zerkleinerung)	ggf. Zuschneiden -> Trittschalldämmung	Reinigung, ggf. Öffnen ->neue Produkte aus Schafwolle
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	3,2	50	ja, wenn Nasserverfahren und keine Zusatzstoffe enthalten	Wiederverwendung	Weiterverwertung, wenn Nassverfahren
Kreuzlagenholz	50	100	nein	Wiederverwendung	Weiterverwertung zu Spanplatten

Thermische Verwertung	Entsorgung	Anmerkungen	Regionalität	Rückbau	Befestigung
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. Acryl-Lack (Polymere aus Acryl- und Methacrylsäure, häufig gemischt mit Alkyd- oder Epoxidharzen), Alkydhar-Lack-Beschichtung und Polyurethan zur Versiegelung	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	-	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend, Holzdielen mit Nut und Feder System
nicht möglich	2	-	nein	Schüttung: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	lose aufliegend
hoch (20,3 MJ/kg)	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Mottenschutzmittel: Mitin/Eulan lt. Hersteller Chlor des Mittels -> vollständige Umsetzung in Salzsäure; evtl. Brandschutzmittel	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose aufliegend
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel (Polyurethanharz bei Trockenverfahren)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	(mechanische Befestigung); lose verlegt
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. mit PUR-Klebstoff (Anteil jedoch sehr gering)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	mechanische Befestigung

Kellerwand Erde1 Beton-XPS	Masse	Nutzungsdauer	Kompostierbarkeit	Produktrecycling	Materialrecycling
Spachtel - Gipsspachtel	3,9	100	nein	-	Zerkleinerung, Mahlen, Windklassieren -> Schwefeldünger, Erstarrungsregler in Zementindustrie
WU-Beton	720	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Bitumenanstrich	2,1	50	nein	-	-

Polystyrol XPS CO2-geschäumt	9	40	nein	Wiederverwendung, wenn lose verlegt	Wiederverwertung durch Einschmelzen oder Weiterverwertung zu Granulat für Bodenauflockerung, als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff zu Mörtel und Beton (wenn sortenrein gesammelt)
Bitumierte Drainageplatte	1,6	40	nein	ggf. neu Bitumieren -> Drainageplatte	-
Vlies (PP)	0,12	50	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
nicht möglich	3	Stellmittel aus Kunststoffen	nein	Rückbau nicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten
sehr hoch (40 MJ/kg)	-	schwefelhaltige Verbindungen, sauerstoffhaltige Verbindungen (Naphthensäuren, Phenole, Fettsäuren), stickstoffhaltige Verbindungen und metallhaltige Verbindungen (Fettsäuremetallsalze, Metallkomplexe)	nein	Rückbau nicht möglich	Verbindung durch erhärten
(sehr hoch) 47 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	sollen in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen entsorgt werden, da bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine in geringen Mengen entstehen (Zusammensetzung: 86 – 93 M% Polystyrol, 0 – 12 M% Treibgas)	nein	sortenreine Trennung bei verklebten Platten nicht möglich; Rückbau: WDVS wird vor Ort von Tragschicht getrennt, durchschn. 1 cm des EPS und die Klebespachtel verbleiben am Ziegel Entsorgung: WDVS wird in MVA verbrannt (inkl. der anorganischen Bestandteile); Ziegel, Mörtel, Putz, EPS-Reste werden in Aufbereitungsanlage getrennt, Ziegel wird recycelt.	verklebt

sehr hoch	3	schwefelhaltige Verbindungen, sauerstoffhaltige Verbindungen (Naphthensäuren, Phenole, Fettsäuren), stickstoffhaltige Verbindungen und metallhaltige Verbindungen (Fettsäuremetallsalze, Metallkomplexe)	nein	Die XPS-Platten werden vor Ort vom Untergrund getrennt und gemeinsam mit der Drainageschicht entsorgt. 1 cm der XPS-Platten und Klebspachtel sowie der Bitumenabdichtung verbleiben am Betonschalstein. Entsorgung: Die mit Bitumen und Dämmstoffresten sowie mit Putz verunreinigten Schalsteine werden deponiert. Drainageschicht und Dämmung werden in MVA thermisch verwertet.	mechanische Befestigung (Dübel)
(sehr hoch) 43 - 44 MJ/kg	als Verunreinigung auf Deponie	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	verklebt

UGD Erdberührt1 Beton-Glaswolle	**Masse**	**Nutzungs-dauer**	**Kompostier-barkeit**	**Produkt-recycling**	**Materialrecycling**
Fertigparkett	7,4	25	nein	-	-
Zementestrich	100	60	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (möglich, wegen Zusatzstoffen und hohem Feinanteil nur eigeschränkte Verwertung)
PE-Folie	0,098	50 (Dampf-bremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Glaswolle TDPS 40-70 kg/m3	2,38	50	nein	Dämmvlies, Stopfwolle	Reinigung, ggf. Entfernung von Kaschierungen, Einschmelzen -> neue Produkte aus Glaswolle
WU-Beton	720	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
PE-Folie	0,392	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Schaumglas 105 kg	25,2	50	nein	-	Einschmelzen, Zerkleinerung -> Schaumglasgranulat(wenn nicht bitumenverklebt)/Schotterersatz im Straßenbau

Magerbeton	100	100	nein	-	Zerkleinerung -> Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Baupapier unter Estrich/Beton	0,15	50	nein	-	-
Kies	270	100	nein	ggf. Absaugen -> Schüttung	ggf. Absaugen ->Schüttung/Zuschlagstoff
Vlies (PP)	0,12	50	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. wasserbasierte Einkomponenten-Acrylat-Dispersionslacke zur Versiegelung und PVAC-Dispersionskleber für die Verlegung	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Parkett verleimt
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
nicht möglich	3	Kunstharz-Bindemittel auf Phenol-Formaldehyd-Basis; Staubminderung: aliphatische Mineralöle; Hydrophobierung: Polysiloxanole	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
nicht möglich	3	Schwefelwasserstoffe in Gasfüllung	nein	sortenreine Trennung bei verklebten Platten nicht möglich	verlegt, Klebeband
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose aufliegend

hoch	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Imprägnierung (mit Ölen auf Naturharzbasis möglich) und/oder Kunststoffbeschichtung/Fungizid behandelt; Altpapier (kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten); evtl. mit Polyesterfaden verstärkt	ja	sortenreine Trennung unter Beton/Estrich nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
nicht möglich	2	-	nein	Schüttung: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	lose verlegt, Randbereich verklebt
(sehr hoch) 43 - 44 MJ/kg	als Verunreinigung auf Deponie	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose aufliegend

UGD Erdberührt2 Beton-Holzfaser	**Masse**	**Nutzungs-dauer**	**Kompostier-barkeit**	**Produkt-recycling**	**Materialrecycling**
Fertigparkett	7,4	25	nein	-	-
Zementestrich	100	60	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff (möglich, wegen Zusatzstoffen und hohem Feinanteil nur eigeschränkte Verwertung)
Baupapier unter Estrich/Beton	0,45	50	nein	-	-
Holzfaserplatte 100 - 160 kg/m³	4,8	50	ja, wenn Nasserverfahren und keine Zusatzstoffe enthalten	Wiederverwendung	Weiterverwertung, wenn Nassverfahren
WU-Beton	720	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
PE-Folie	0,392	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Schaumglas 105 kg	25,2	50	nein	-	Einschmelzen, Zerkleinerung -> Schaumglasgranulat(wenn nicht bitumenverklebt)/Schotterersatz im Straßenbau
Magerbeton	100	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
Baupapier unter Estrich/Beton	0,15	50	nein	-	-

Kies	270	100	nein	ggf. Absaugen -> Schüttung	ggf. Absaugen -> Schüttung/Zuschlagstoff
Vlies (PP)	0,12	50	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
(mittel) 18 MJ/kg - abhängig von Beschichtung und Bindemittel	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel z.B. wasserbasierte Einkomponenten-Acrylat-Dispersionslacke zur Versiegelung und PVAC-Dispersionskleber für die Verlegung	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	-
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt, Parkett mit Nut und Feder System
hoch	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Imprägnierung (mit Ölen auf Naturharzbasis möglich) und/oder Kunststoffbeschichtung/Fungizid behandelt; Altpapier (kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten); evtl. mit Polyesterfaden verstärkt	ja	sortenreine Trennung unter Beton/Estrich nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
(mittel) 18 MJ/kg	nach thermischer Vorbehandlung möglich	abhängig von Beschichtung und Bindemittel (Polyurethanharz bei Trockenverfahren)	ja	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung leicht möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose verlegt
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
nicht möglich	3	Schwefelwasserstoffe in Gasfüllung	nein	sortenreine Trennung bei verklebten Platten nicht möglich	lose verlegt, Randbereich verklebt
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	lose aufliegend
hoch	nach thermischer Vorbehandlung möglich	Imprägnierung (mit Ölen auf Naturharzbasis möglich) und/oder Kunststoffbeschichtung/Fungizid behandelt; Altpapier (kann Schwermetalle aus Farbpigmenten enthalten); evtl. mit Polyesterfaden verstärkt	ja	sortenreine Trennung unter Beton/Estrich nicht möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten

nicht möglich	2	-	nein	Schüttung: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	lose verlegt, Randbereich verklebt
(sehr hoch) 43 - 44 MJ/kg	als Verunreinigung auf Deponie	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose aufliegend

UGD Erdberührt3 STB-Schaumglasgranulat	**Masse**	**Nutzungs-dauer**	**Kompostier-barkeit**	**Produkt-recycling**	**Materialrecycling**
Stahlbeton	600	100	nein	-	Zerkleinerung ->Schüttung, Zuschlagstoff (nicht wenn mit Bitumenbahnen verklebt)
PE-Folie	0,98	50 (Dampfbremse)	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt
Schaumglasgranulat	36,75	100 (Schaumglasschotter)	nein	ggf. Absaugen ->Schüttung	ggf. Absaugen, Einschmelzen -> Dämmschüttung/Schotter z.B. Straßenbau
Vlies (PP)	0,12	50	nein	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt	nein, da meist geklebt oder stark verschmutzt

Thermische Verwertung	**Entsorgung**	**Anmerkungen**	**Regionalität**	**Rückbau**	**Befestigung**
nicht möglich	2 - 3	in der Regel mineralische Zusatzstoffe	nein	Rückbau nicht möglich	-
möglich, aber aus ökologischer Sicht nicht empfehlenswert (sehr hoch~43 MJ/kg)	als Verunreinigung auf Deponie	kann Additive wie Weichmacher, Antioxidantien, Stabilisatoren und ggf. Flammschutzmittel enthalten	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	fließend verlegt, Verbindung durch erhärten
nicht möglich	3	Schwefelwasserstoffe in Gasfüllung	nein	loser Dämmstoff: kann abgesaugt oder eingesammelt und wiederverwendet werden	lose verlegt, Randbereich verklebt
(sehr hoch) 43 - 44 MJ/kg	als Verunreinigung auf Deponie	-	nein	sortenreine Trennung bei mechanischer Befestigung möglich	lose aufliegend

12.6. Verwendete Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Benennung
α	-	Absorptionsgrad
α	-	Parameter zur Ermittlung des Masseverlustes infolge Verrottung
α_c	W/(m².K)	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient
a_F	rad	Orientierung der Fläche
a_s	rad	Orientierung der Sonne
a_{VK}	%	Kostensteigerung der VK_j bzw. VK
α_r	W/(m².K)	Strahlungswärmeübergangskoeffizient
β	1/K	Volumenausdehnungskoeffizientβ
β_c	m/s	Feuchteübergangskoeffizient
β_p	kg/(m².s.Pa)	Feuchteübergangskoeffizient
γ_F	rad	Neigung der Fläche (horizontal = 0)
γ_h	-	Verhältnis von Wärmegewinnen zu Wärmeverlusten im Heizfall
γ_S	rad	Sonnenstand (horizontal = 0)
γ_{SF}	rad	Winkel zwischen Dem Sonnenstand und der Fläche in rad
δ_S	-	Reflexionsgrad
δ	m	Eindringtiefe für Temperaturwellen
δ_m	m	Eindringtiefe für Feuchtewellen (m … moisture)
δ_P	kg/(m.s.Pa) (= s)	Diffusionskoeffzient zum Wasserdampfpartialdruck
δ_{P0}, δ_{c0}	kg/(m.s.Pa) (= s)	Permeabilität von Wasserdampf in Luft = Diffusionskoeffzient von Wasserdampf in Luft
ε	-	Emissionsvermögen
ζ	kg/m³	Feuchtespeicherkapazität
η	Pa.s	Dynamische Viskosität von Luft
$\eta_{c,j}$	-	Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne im Kühlfall im jeweiligen Monat
η_{EWT}	-	Wärmebereitstellungsgrad (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) des Erdwärmetauschers
$\eta_{EWT,h}$	-	Wärmebereitstellungsgrad des Erdwärmetauschers im Heizfall
$\eta_{EWT,c}$	-	Wärmebereitstellungsgrad des Erdwärmetauschers im Kühlfall
$\eta_{h,j}$	-	Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne im Heizfall im jeweiligen Monat
η_n	-	Jahreswirkungsgrad des Heizsystems
η_{Vges}	-	Wärmebereitstellungsgrad (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) des Gesamtsystems
$\eta_{Vges,h}$	-	Wärmebereitstellungsgrad (Reduktion der

		Lüftungswärmeverluste) des Gesamtsystems im Heizfall im jeweiligen Monat
$\eta_{Vges,c}$	-	Wärmebereitstellungsgrad des Gesamtsystems im Kühlfall im jeweiligen Monat
η_{WRG}	-	Wärmebereitstellungsgrad (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) des Lüftungsgerätes mit Wärmerückgewinnung (abluftseitiges Temperaturverhältnis $\eta_{t,ex}$ aus ÖNORM EN 13141-7 bzw. ÖNORM EN 308)
θ	°C	Temperatur
θ_B	°C	fiktive Bodentemperatur
θ_e	°C	Außenlufttemperatur
$\theta_{e,M}$	°C	mittlere Außentemperatur im jeweiligen Monat
θ_{EWT}	°C	Temperatur des Erdreichwärmetauschers
θ_{FH}	°C	mittlere Temperatur der Flächenheizung (Heizmedium) des jeweiligen Monats
θ_i	°C	Innenlufttemperatur
$\theta_{i,c}$	°C	Solltemperatur des konditionierten Raumes im Kühlfall
$\theta_{i,h}$	°C	Solltemperatur des konditionierten Raumes im Heizfall
$\theta_{i,hour}$	°C	Mittlere Innentemperatur in der jeweiligen Stunde
θ_{iu}	°C	Temperatur des unkonditionierten Raumes
θ_{sat}	°C	Taupunkttemperatur; Sättigungstemperatur: Temperatur, bei der der Wasserdampf-Teildruck p der Luft gleich dem Wasserdampf-Sättigungsdruck p_{sat} ist.
θ_{si}	°C	innere Oberflächentemperatur
$\theta_{si,min}$	°C	minimale Innenoberflächen-Temperatur
$\theta_{i,M}$	°C	Mittlere Innentemperatur im jeweiligen Monat
θ_{Kessel}	°C	(Pellets-)Kesseltemperatur
θ_{Ne}	°C	Normaußentemperatur (ist das tiefste Zweitagesmittel der Außentemperatur, das 10-mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wird; in der ÖNORM H 7500 mit θ_e bezeichnet)
θ_{Raum}	°C	Temperatur in (Kessel)-Aufstellraum
$\theta_{RL,Ne}$	°C	Rücklauftemperatur bei Normaußentemperatur
$\theta_{TMit,min}$	°C	mittlerer jährlicher Tiefstwert des Temperatur-Tagesmittels
$\theta_{VL,gew}$	°C	Gewichtete Vorlauftemperatur
$\theta_{VL,Heizung}$	°C	Notwendige Vorlauftemperatur für Heizung
$\theta_{VL,Ne}$	°C	Vorlauftemperatur bei Normaußentemperatur
$\theta_{VL,WW}$	°C	Notwendige Vorlauftemperatur für Warmwasserbereitung
$\theta_{Wärmequelle}$	°C	Referenztemperatur für die Wärmequelle eines Wärmepumpensystems
$\theta_{Wärmesenke}$	°C	Referenztemperatur für die Wärmesenke eines Wärmepumpensystems
λ	W/(m.K)	Wärmeleitfähigkeit
$\lambda_{n,v}$	W/(m².K)	Nennwert der Wärmeleitfähigkeit der wärmeschutztechnisch wirksamen Schicht
λ_T	W/(m.K)	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

μ	-	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl: Zahl, die angibt, um wie viel Mal größer der Diffusionswiderstand eines Stoffes gegenüber jenem einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur ist (Luft: μ = 1).
μ_L	-	Raumbelastungsgrad bei Einsatz von Abluftleuchten
ζ		Reibbeiwert
ζA		Reibbeiwert der Auslassöffnung
ζE		Reibbeiwert infolge Wandreibung
ζR		Reibbeiwert der Einlassöffnung
ρ	kg/m³	Dichte des Stoffes
ρ_{tr}	kg/m³	Rohdichte des trockenen Stoffes
ρ_w	kg/m³	Dichte des Wassers (1000 kg/m³ bei 20 °C)
ρ_0	kg/m³	Luftdichte der Referenztemperatur
τ_S	-	Transmissionsgrad
τ	h	Gebäudezeitkonstante
τ_0	h	Referenzgebäudezeitkonstante (16 im Heiz- und Kühlfall)
Φ_{WRG}	-	Rückwärmzahl (abluftseitiges Temperaturverhältnis gemäß ÖNORM EN 308) der Wärmerückgewinnung. Im Bedarfsfall bzw. in Übereinstimmung mit ÖNORM H 5057 ist die Möglichkeit eines Bypasssystems (Φ_{WRG} = 0) zu berücksichtigen.
φ	- oder %	relative Luftfeuchtigkeit: Verhältnis des tatsächlich vorhandenen Wasserdampfdruckes zum Sättigungsdruck (auch in % ausdrückbar).
φ_i	-	relative Feuchtigkeit der Raumluft (i … interior)
φ_e	-	relative Feuchtigkeit der Außenluft (e … exterior)
χ	J/(K.m²)	flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität des Bauteiles
χ_k	W/K	Korrekturkoeffizient der dreidimensionalen Wärmebrücke k
χ_m	kg/m²/(kg/m³)	flächenbezogene wirksame Feuchtekapazität des Bauteiles
$\chi_{u,e}$, $\chi_{i,u}$	W/K	Korrekturkoeffizient einer dreidimensionalen Wärmebrücke zwischen innen und unkonditioniertem Raum bzw. zwischen unkonditioniertem Raum und außen
ψ_j	W/(m.K)	Korrekturkoeffizient der zweidimensionalen Wärmebrücke j
$\psi_{u,e}$, $\psi_{i,u}$	W/(m.K)	Korrekturkoeffizient einer zweidimensionalen Wärmebrücke zwischen innen und unkonditioniertem Raum bzw. zwischen unkonditioniertem Raum und außen
a	m²/s	Temperaturleitfähigkeit
A	m²	Fläche der Gebäudehülle
A_{num}	-	numerischer Parameter für den Ausnutzungsgrad
A_{AL}	m²	Fensterfläche, gegeben durch die Architekturlichte oder (sonnentechnische) Bauteilfläche
A_B	m²	Hüllfläche
A_{Ap}	m²	Aperaturfläche des Solarkollektors gemäß ÖNORM EN

		12975-1
A_{BT}	m²	Bauteilfläche
A_F	m²	Fußbodenfläche eines Raumes
A_G	m²	Fläche der transparenten Teile des Fensters (Glasfläche)
A_I	m²	Immissionsfläche
A_i	m²	Fläche des Bauteils i der Gebäudehülle
A_k	m²	Flächeninhalte jener Teilflächen k der Gebäudehülle, für die eindimensionale Wärmeleitung angenommen wird (plattenförmige, aus homogenen Schichten aufgebaute Bauteile)
$a_{m,S,c}$	-	Parameter zur Bewertung der Aktivierung von Sonnenschutzeinrichtungen
A_R	m²	Fläche aller nicht transparenten Teile des Fensters (zB Rahmen)
$A_{trans,c,k,j}$	m²	solar wirksame Kollektorfläche der transparenten Oberfläche k mit der Orientierung j im Kühlfall
$A_{trans,h,k,j}$	m²	solar wirksame Kollektorfläche der transparenten Oberfläche k mit der Orientierung j im Heizfall
$A_{u,e}$, $A_{i,u}$	m²	Fläche eines Einzelbauteils zwischen innen und unkonditioniertem Raum bzw. zwischen unkonditioniertem Raum und außen
$A_{LI,ex}$	m²	Oberfläche der Luftleitungen außerhalb der thermischen Gebäudehülle
A_{VK}	-	Faktor für die Kostensteigerung der VK_j bzw. VK
A/V	1/m	Kompaktheit
AWF	-	*„Aufwandsfaktor“*
a_0		Referenzparameter für den Ausnutzungsgrad (1 im Heiz- und Kühlfall)
$a_{1,Ap}$	-	linearer Verlustfaktor des Kollektors gemäß ÖNORM M 7701 bezogen auf die Aperturfläche
B	EUR	Barwert der Gesamtkosten
BF	m²	konditionierte Bezugsfläche des Gebäudes / Gebäudeteiles
BGF	m²	konditionierte Brutto-Grundfläche des Gebäudes/Gebäudeteils
BK	EUR	Baukosten
BKK	EUR	Barwert der kapitalgebundenen Kosten
BNVK	EUR	Barwert der nicht verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten
BVK	EUR	Barwert der verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten
c	kg/m³	absoluter Feuchtegehalt
C	Wh/K	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes
C_A	J/(K.m²)	flächenbezogene wirksame Wärme-Speicherkapazität
C_B	J/K	wirksame Wärmespeicherkapazität des Bauteiles
c_E	J/(kg.K)	spezifische Wärmekapazität der Einrichtungsgegenstände
C_{mat}	-	Koeffizient für Schimmelpilzrückgang
c_p	J/(kg.K)	spezifische Wärmespeicherfähigkeit des Materials

$c_{p,L}.\rho_L$	W/(m³.K)	volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit von Luft man verwende $c_{p,L}.\rho_L$ = 0,34
$c_{p,St}$	J/(kg.K)	spezifische Wärmespeicherfähigkeit von Stahl
$c_{p,w}$	J/(kg.K)	spezifische Wärmespeicherfähigkeit von Wasser
C_p	J/K	Wärmekapazität (eines Kessels,….)
C_s	Wh/K	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes
c_{tr}	J/(kg.K)	spezifische Wärmekapazität
$C_{w,V}$	J/(K.m³)	volumenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität des Raumes
c_0	J/(kg.K)	Referenz-Wärmespeicherkapazität
COP	-	ideale (Carnot'sche) Leistungszahl (Coefficient of Performance)
$COP_{0,in}$	-	ideale (Carnot'sche) Leistungszahl (Coefficient of Performance) der Wärmepumpe bei den Temperaturniveaus des betrachteten Temperaturintervalls bei Volllast
$COP_{fl,in}$	-	Leistungszahl (Coefficient of Performance) der Wärmepumpe des Temperaturniveaus der betrachteten Temperaturintervalle bei Volllast unter Betriebsbedingungen
$COP_{pl,in}$	-	Leistungszahl der Wärmepumpe innerhalb des betrachteten Temperaturintervalls bei Teillast
COP_N	-	Leistungszahl der Wärmepumpe im Normbetriebspunkt
COP_{real}	-	Leistungszahl der Wärmepumpe im Referenzfall der betrachteten Stunde
D,δ_V	m²/s	Diffusionskoeffzient zum absoluten Feuchtegehalt
DBK	EUR	Differenz der BK zweier zu vergleichender Varianten
d	m	Dicke der Schicht
$d_{c,a}$	d/a	Betriebstage der Kühlung pro Jahr
$d_{h,a}$	d/a	Betriebstage der Heizung pro Jahr
d_m		laufender Tag des Monats (1 bis zum Monatsletzten)
d_{Nutz}	d/M	Nutzungstage im jeweiligen Monat
$d_{Nutz,a}$	d/a	Nutzungstage pro Jahr
$d_{RLT,a}$	d/a	Betriebstage der raumlufttechnischen Anlage pro Jahr
DVK	EUR	Differenz der VK zweier zu vergleichender Varianten
$d_{v,opt}$	m	optimale wärmeschutztechnisch wirksame Dicke
E_m	lx	Wartungswert der Beleuchtungsstärke
$EPR_{Gebrauch}$	EUR/kWh	energiebezogener Einstandspreis für die Gebrauchsenergie
EPR_{Nutz}	EUR/kWh	Energiepreis für die Nutzenergie
EVK	EUR	Endwert der VK
$E_{Zünd,elektrisch}$	kWh	Elektrischer Zündenergiebedarf für einen Kesssel-Kaltstart
f_{BW}	Wh/(m³.K)	Faktor zur Beurteilung der Bauweise
F_C	-	Abminderungsfaktor einer Abschattungseinrichtung
f_{corr}	-	Korrektur-Faktor $f_{corr} = \begin{cases} 1,4 & \tau \le 90 \\ -0,01 \cdot \tau + 2,3 & 90 < \tau \le 130 \\ 1,0 & \tau > 130 \end{cases}$

FC_{in}	-	Auslastungsgrad der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
f_{EAZ}	-	Faktor für die Energieaufwandszahl zur Berechnung der Wärmeverluste von Raumheizgeräten und Herde
f_{eh}	-	Faktor zur Bewertung der Einschalthäufigkeit des Wärmebereitschaftssystems
$f_{ero,1}$	-	Faktor für äquivalente Verteilleitungslängen (bzw. allfälliger Zirkulationsleitungslängen) für Einbauten wie z. B. Armaturen und Pumpen
$f_{ero,2}$	-	Faktor für äquivalente Steig- und Anbindeleitungslängen (bzw. allfälliger Zirkulationsleitungslängen) für Einbauten wie z. B. Armaturen und Pumpen
f_{et}	-	Energieträgerfaktor
F_f	-	Verschattungsfaktor für seitliche Überstände
$f_{FH,i}$	-	Korrekturfaktor für Flächenheizungen in der Gebäudehülle $f_{FH,i}$ i = 1 bei Flächen ohne Flächenheizung
f_G	-	Glasflächenanteil $f_G = \frac{A_G}{A_{AL}}, f_G + f_R = 1$
F_h	-	Verschattungsfaktor für den Horizont (Topographie)
$f_{H,\varphi}$	-	monatlicher Auslastungsgrad von Kesseln für Raumheizung
f_{HT}	-	Zuschlagsfaktor zum Referenz-Heiztechnik-Energiebedarf – fHT = 1,15 für Basis-Wärmeschutz – fHT = 1,05 für Erhöhten Wärmeschutz
f_i	-	Temperaturkorrekturfaktoren der Bauteile nicht gegen Außenluft
$f_{i,c}$	-	Temperaturkorrekturfaktoren der Bauteile im Kühlfall
$f_{i,h}$	-	Temperaturkorrekturfaktoren der Bauteile im Heizfall
F_K	-	Verschattung durch die Konstruktion des Wintergartens
$f_{kom,\varphi}$	-	monatlicher Auslastungsgrad von Kesseln für Raumheizung und Warmwasser
$f_{MG,in}$	-	Modulationsfaktor der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
F_o	-	Verschattung für Überhänge
f_{op}	kKh	Strahlungswirkungs-Korrekturfaktoren
f_{pl}	-	Teillastfaktor der Wärmepumpe
$f_{pl,in}$	-	Teillastfaktor der Wärmepumpe im Temperaturintervall
f_R	-	Rahmenflächenanteil $f_R = \frac{A_R}{A_{AL}}$
$f_{R_{si}}$	-	Temperaturfaktor: Quotient aus der Differenz zwischen der inneren Oberflächentemperatur und der Außenlufttemperatur und der Differenz zwischen Innen- und Außenlufttemperatur $f_{R_{si}} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$

$f_{R_{si},\min}$	-	Bemessungstemperaturfaktor kleinster zulässiger (mindesterforderlicher) Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche $f_{R_{si},\min} = \frac{\theta_{si,\min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$
F_s	-	Verschattungsfaktor
$F_{s,h}$	-	Verschattungsfaktor für den Heizfall
$F_{s,c}$	-	Verschattungsfaktor für den Kühlfall
F_{sky}	-	Sichtfaktor der Oberfläche zum Himmel
$f_{TW,K,\varphi}$	-	monatlicher Auslastungsgrad von Kesseln für Warmwasserbereitung
$F_{t,n,m}$	-	Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit im Hinblick auf Beleuchtung
$f_{üw}$	-	Faktor für nicht nutzbare Überwärme bei Heizkessel ohne Modulierungsmöglichkeit
f_0	-	thermodynamischer (carnot'scher) Gütegrad der Wärmepumpe
G	kg/s	Feuchteproduktion
g	m/s²	Erdbeschleunigung
g	-	Proportionalitätsfaktor: Faktor, der den Einfluss der Lufttemperatur in einem Raum auf die minimale Temperatur der Bauteiloberfläche im betrachteten Raum angibt
$g_e, g_1, \ldots g_n$	-	Temperaturgewichtungsfaktor: Faktor, der den Einfluss der Lufttemperatur auf die Oberflächentemperatur in an eine Baukonstruktion thermisch angekoppelten Räumen angibt.
g_F	-	solarer Gesamtenergie-Durchlassgrad lotrecht auf die Verglasungsfläche nach ÖNORM EN 410.
$g_{surf,v}$	kg/m²s	Massenstromdichte
g_{tot}	-	Gesamtenergie-Durchlassgrad eines transparenten Bauteiles
g_v	kg/m²s	Massenstromdichte infolge Diffusion
$g_{w,F}$	-	effektiv wirksamer Gesamtenergie-Durchlassgrad der Verglasung
$g_{wges,F}$	-	Energiedurchlassgrad infolge Verschaltung des Wintergartens
$g_{w1,F}$	-	Energiedurchlassgrad Verglasung 1
$g_{w2,F}$	-	Energiedurchlassgrad Verglasung 2
h_d	-	laufende Stunde des Tages (1 bis 24)
h_{Ne}	m	Höhe der Nutzebene im Hinblick auf Beleuchtung
HEB_{BGF}	kWh/(m².a)	spezifischer jährlicher Heizenergiebedarf
$HGT_{20/12}$	(K.d)/a	Heizgradtage gemäß ÖNORM B 8110-5
HGT	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage
$HGT_{H,zus,al}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage für ein zusätzliches Heizungssystem bei Alternativ-Betrieb

$HGT_{H,zus,pa}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage für ein zusätzliches Heizungssystem bei Parallel-Betrieb
$HGT_{H,x,al}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage bei Alternativbetrieb
HGT_{in}	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage innerhalb der betrachteten Temperaturintervalle
$HGT_{in,al}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage innerhalb der betrachteten Temperaturintervalle für Alternativ-Betrieb der Wärmepumpe
$HGT_{in,pa}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage innerhalb der betrachteten Temperaturintervalle für Parallel-Betrieb der Wärmepumpe
$HGT_{H,x,pa}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage bei Parallelbetrieb
HT	d/M	Heiztage im jeweiligen Monat gemäß ÖNORM H 5056
HT_{bp}	d/M	Anzahl der monatlichen Heiztage bei einer Temperatur unter dem Bivalenzpunkt
HT_{in}	d/M	Anzahl der monatlichen Heiztage bei einem Tagesmittel der Außentemperatur innerhalb des betrachteten Temperaturintervalls
$HT_{Heiz,j}$	d/M	Anzahl der monatlichen Heiztage bei einem Tagesmittel der Außentemperatur von j
$HTEB_{BGF}$	kWh/(m².a)	jährlicher spezifischer Heiztechnik-Energiebedarf
$HTEB_{H,BGF}$	kWh/(m².a)	jährlicher spezifischer Heiztechnik-Energiebedarf für Raumheizung
$HTEBT_{W,BGF}$	kWh/(m².a)	jährlicher spezifischer Heiztechnik-Energiebedarf für Warmwasser
HWB	kWh/a	jährlicher Heizwärmebedarf
HWB_{BGF}	kWh/(m².a)	jährlicher spezifischer Heizwärmebedarf, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche
$HWB_{BGF,WG,RK}$	kWh/(m².a)	jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude – Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,WG,RK,max}$	kWh/(m².a)	maximaler jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude – Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,WGsan,RK}$	kWh/(m².a)	jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude – große Renovierung, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,WGsan,RK,max}$	kWh/(m².a)	maximaler jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude – große Renovierung, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,nE\text{-}WG,RK}$	kWh/(m².a)	jährlicher Heizwärmebedarf für Niedrigenergie-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,nstE\text{-}WG,RK}$	kWh/(m².a)	jährlicher Heizwärmebedarf für Niedrigstenergie-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{NGF,RK}$	kWh/(m².a)	auf die konditionierte Netto-Grundfläche bezogener jährlicher Heizwärmebedarf, bezogen und das

		Referenzklima
$HWB^*_{V,nE\text{-}NWG,RK}$	kWh/(m³.a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Niedrigenergie-Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,nstE\text{-}NWG,Ref}$	kWh/(m³.a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Niedrigstenergie-Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
HWB^*_V	kWh/(m³.a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
HWB_V	kWh/(m³.a)	jährlicher Heizwärmebedarf, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
$HWB^*_{V,NWG,RK}$	kWh/(m³.a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,NWG,RK,max}$	kWh/(m³.a)	maximaler jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,NWGsan,RK}$	kWh/(m³.a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude – größere Renovierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,NWGsan,RK,max}$	kWh/(m³.a)	maximaler jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude – größere Renovierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
ΔH	m	Höhendifferenz
I_{abs}	W/m²	absorbierte Strahlung
I_{diff}	W/m²	diffuse Strahlung auf die Oberfläche
$I_{diff,H}$	W/m²	diffuse Strahlung auf eine horizontale Fläche
$I_{diff,refl}$	W/m²	diffuse Reflektionsstrahlung auf eine Fläche
$I_{diff,S}$	W/m²	diffuse Strahlung auf eine Fläche
I_{dir}	W/m²	direkte Strahlung auf die Oberfläche
$I_{dir,S}$	W/m²	direkte Strahlung auf eine Fläche
$I_{dir,n}$	W/m²	direkte Strahlung auf eine Fläche normal zur Sonne
I_{refl}	W/m²	reflektierte Strahlung auf die Oberfläche
I_S	kWh/(m².M)	mittlere Monatssummen der Globalstrahlung
I_{sol}	W/m²	solare Einstrahlung auf die Fläche
j	kg/(m².s) bzw. kg/(m.s)	Feuchtestromdichte
j_a	kg/(m².s)	Luftmassenstromdichte (a … air)
$JNGF$	-	Jahresnutzungsgradfaktor
K	m²/s	Flüssigkeitsleitzahl
k	m²	Luftpermeabilität
K	-	Bodenreflexionskorrekturwert nach ÖNORM M 7701 (nur bei Anlagen über 60° Neigung)

k_A	-	Minderungsfaktor im Hinblick auf Beleuchtung
k_{Invest}	€/kW	Spezifische Investitionskosten
$K_{Invest,min}$	€	Mindestinvestition
k_R	-	Raumindex im Hinblick auf Beleuchtung
$KB^*_{V,NWG,max}$	kWh/(m³.a)	maximaler jährlicher außeninduzierter Kühlbedarf für Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$KB^*_{V,NWGsan,max}$	kWh/(m³.a)	maximaler jährlicher außeninduzierter Kühlbedarf für Nicht-Wohngebäude – größere Renovierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
KB^*_V	kWh/(m³.a)	jährlicher Kühlbedarf, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
k_{Wbs}	-	Korrekturwert des Wärmebereitstellungssystems
k1		Intensitätsfaktor
k2		Mäßigungsfaktor
l_C	m	charakteristische Länge
L_e	W/K	thermischer Leitwert für alle Bauteile, die den konditionierten Innenraum und die Außenluft thermisch verbinden
LEK_{eq}	-	äquivalenter LEK-Wert
LEK-Wert	-	Kennwert/Kennlinie für den Wärmeschutz der Gebäudehülle
LENI	kWh/(m².a)	Beleuchtungsenergiebedarf gemäß ÖNORM H 5059
L_g	W/K	thermischer Leitwert für Bauteile, die den konditionierten Innenraum über den Boden mit dem Außenraum thermisch verbinden
$l_{H,Ro,Anbindel}$	m	Länge der Anbindeleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen
$l_{H,Ro,Steigl,beh}$	m	Länge der Steigleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen
$l_{H,Ro,Steigl,u}$	m	Länge der Steigleitungen der Raumheizung in unbeheizten Räumen
$l_{H,Ro,Verteil,beh}$	m	Länge der Verteilleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen
$l_{H,Ro,\ Verteil,u}$	m	Länge der Verteilleitungen der Raumheizung in unbeheizten Räumen
l_j	m	Länge der zweidimensionalen Wärmebrücke
$l_{\psi,u,e}$, $l_{\psi,i,u}$	m	Länge einer zweidimensionalen Wärmebrücke zwischen innen und unkonditioniertem Raum bzw. zwischen unkonditioniertem Raum und außen
$L_{i,u}$	W/K	Leitwert zwischen innen und unkonditioniertem Raum
$l_{Sol,Ro,hor,beh}$	m	Länge der horizontalen Rohrleitungen des Kollektorkreises in beheizten Räumen
$l_{Sol,Ro,hor,u}$	m	Länge der horizontalen Rohrleitungen des Kollektorkreises in unbeheizten Räumen
$l_{Sol,Ro,ver,beh}$	m	Länge der vertikalen Rohrleitungen des Kollektorkreises in beheizten Räumen

$l_{Sol,Ro,ver,u}$	m	Länge der vertikalen Rohrleitungen des Kollektorkreises in unbeheizten Räumen
L_T	W/K	Transmissions-Leitwert eines Gebäudes
L_u	W/K	thermischer Leitwert für Bauteile, die den konditionierten Innenraum über unkonditionierte Räume mit der Außenluft verbinden
$L_{u,e}$	W/K	Leitwert zwischen unkonditioniertem Raum und außen
L_V	W/K	Lüftungs-Leitwert
$L_{V,u,e}$	W/K	Lüftungsleitwert des unkonditionierten Raumes
$L_{Vh,FL}$	W/K	Lüftungs-Leitwert im Heizfall für Nicht-Wohngebäude infolge Fenster-Lüftung
$L_{Vc,FL}$	W/K	Lüftungs-Leitwert im Kühlfall für Nicht-Wohngebäude infolge Fenster-Lüftung
$L_{V,Inf}$	W/K	Lüftungs-Leitwert für Nicht-Wohngebäude infolge Infiltration
$L_{Vh,RLT}$	W/K	Lüftungs-Leitwert im Heizfall für Nicht-Wohngebäude infolge einer RLT-Anlage
$L_{Vc,RLT}$	W/K	Lüftungs-Leitwert im Kühlfall für Nicht-Wohngebäude infolge einer RLT-Anlage (die Möglichkeit eines Sommer-Bypass ist zu berücksichtigen)
$l_{WW,Ro,Steigl,beh}$	m	Länge der Steigleitungen für Warmwasser in beheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Steigl,u}$	m	Länge der Steigleitungen für Warmwasser in unbeheizten Räumen
$l_{WW,Ro,StichI}$	m	Länge der Stichleitungen für Warmwassers
$l_{WW,Ro,Verteil,beh}$	m	Länge der Warmwasser-Verteilleitungen in beheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Verteil,u}$	m	Länge der Warmwasser-Verteilleitungen in unbeheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Zirkl-S,beh}$	m	Länge der Zirkulations-Rücklauf-Steigleitungen für Warmwasser in beheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Zirkl-S,u}$	m	Länge der Zirkulations-Rücklauf-Steigleitungen für Warmwasser in unbeheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Zirkl-V,beh}$	m	Länge der Warmwasser-Zirkulations-Rücklauf-Verteilleitungen in beheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Zirkl-V,u}$	m	Länge der Warmwasser-Zirkulations-Rücklauf-Verteilleitungen in unbeheizten Räumen
L_ψ	W/K	Leitwertzuschlag für zweidimensionale Wärmebrücken
L_χ	W/K	Leitwertzuschlag für dreidimensionale Wärmebrücken
M		Schimmelindex (M … Mould Index)
$\dot{m}$	kg/s	Massenstrom
M_a	kg/m²	flächenbezogene akkumulierte Kondenswassermenge an einer Grenzfläche
m_f	kg	Masse der Probe vor dem Trocknen
$MG_{WP,in}$	-	Modulationsgrad der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
m_{Kess}	kg	Masse des Kesselkörpers (ohne Wasser)

ML	%	Masseverlust (ML … mass loss)
m_{tr}	kg	Masse der Probe nach dem Trocknen
$\dot{m}_V$	kg/s	Massenstrom durch Lüftung (Ventilation)
$\dot{m}_S$	kg/s	Massenstrom zwischen Bauteil und Raum (Surface)
MT	d/M	Tage im jeweiligen Monat gemäß ÖNORM B 8110-5
m_w	kg	gesamte speicherwirksame Masse eines Raumes
$m_{w,B}$	kg	speicherwirksame Masse eines Bauteils
$m_{w,B,A}$	kg/m²	flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils
$m_{w,E}$	kg	speicherwirksame Masse der Einrichtung
$m_{w,I}$	kg/m²	immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse eines Raumes
$m_{w,I,min}$	kg/m²	mindesterforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse
$\Delta m_{w,I,min}$	kg/m²	Überschuss an immissionsflächenbezogener speicherwirksamer Masse
$m_{w,V}$	kg/m³	volumenbezogene speicherwirksame Masse eines Raumes
n	a	Betrachtungszeitraum
N	a	Nutzungsdauer
NF	m²	Nutzfläche des Gebäudes
NGF	m²	beheizte Nettogrundfläche bei Nicht-Wohngebäude
n_{HK}	-	Heizkörperexponent
$n_{LH,Vent}$	1/h	Luftwechselrate der Luftheizung
n_L	1/h	Luftwechselzahl, Luftwechselrate
$n_{L,FL}$	1/h	energetisch wirksame Luftwechselrate bei Fensterlüftung
$n_{L,m,c}$	1/h	mittlere monatliche Luftwechselrate im Kühlfall
$n_{L,m,h}$	1/h	mittlere monatliche Luftwechselrate im Heizfall
$n_{L,NL}$	1/h	energetisch wirksame Luftwechselrate bei Nachtlüftung
$n_{L,NL,real}$	1/h	Nachtluftwechselrate bezogen auf das reale Lüftungsvolumen im Gebäude
$n_{L,RLT}$	1/h	energetisch wirksame Luftwechselrate bei Raumlufttechnik
$n_{L,u}$	1/h	Luftwechsel zwischen dem unkonditionierten Raum und dem Außenraum; sofern keine genauen Werte bekannt sind, ist $n_{L,u}$ = 0,5 1/h zu setzen
N_R	a	Amortisationsdauer
NVK_j	EUR	nicht verbrauchsgebundene Baunutzungskosten im Rechenjahr
n_x	1/h	Falschluftrate $n_x = 0{,}11 \quad n_{50} > 1{,}5$ $n_x = 0{,}07 \cdot n_{50} \quad 0{,}6 \le n_{50} \le 1{,}5$ $n_x = 0{,}04 \quad n_{50} < 0{,}6$
n_{50}	1/h	Luftwechselzahl, gemessen bei 50 Pa Druckdifferenz zwischen innen und außen
p	Pa (= N/m²)	Partialdruck der trockenen Luft
p_{NVK}	%	Kostensteigerung der NVK
P	-	Faktor für die Kostensteigerung der NVK_j

$P_{A\&V,elektrisch}$	W	Elektrische Leistung für Antriebe und Ventilatoren eines Kessels
P_H	-	Peclet Zahl
$P_{H,NGF}$	W/m²	auf die konditionierte Netto-Grundfläche bezogene Heizlast
p_{sat}	Pa (= N/m²)	Wasserdampf-Sättigungsdruck: Wasserdampf-Teildruck bei relativer Luftfeuchtigkeit ϕ= 100 %
PVW	EUR/m³	volumenbezogener Preis der wärmeschutztechnisch wirksamen Schicht
$P_{el,vw}$	kW	elektrische Leistungsaufnahme des Vorheizregisters
$P_{H,BE}$	kW	elektrische Nennleistung der Fördereinrichtung für Biomasse des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,K,Geb}$	kW	elektrische Nennleistung des Gebläses des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,K,HE}$	kW	elektrische Gesamtleistung der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,K,Ölp}$	kW	elektrische Nennleistung der Ölpumpe des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,K,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Pumpe des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,KN}$	kW	Nennwärmeleistung des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,Vent}$	kW	elektrische Nennleistung des Ventilators
$P_{H,WS,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Heizungsspeicherpumpe
$P_{H,WT}$	kW	Nennwärmeleistung des Wärmetauschers für Raumheizung
$P_{H,WV,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Umwälzpumpe
P_{KN}	kW	Nennwärmeleistung des Heizkessels
$P_{kom,KN}$	kW	Nennwärmeleistung des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasser
$P_{kom,WT}$	kW	Nennwärmeleistung des Wärmetauschers für Raumheizung und Warmwasser
P_M	-	Peclet Zahl für kombinierten Feuchtetransport
P_R	W	elektrische Leistung der Regelung der Solaranlage
$P_{Verlust,Rauchgas}$	W	(Verlust-)Leistung an das Rauchgas
$P_{sol,P}$	W	elektrische Nennleistung der Umwälzpumpen des Kollektorkreises
$P_{T,V}$	W/(m³.K)	volumenbezogener Transmissions-Leitwert
$P_{Verlust,Aufstellraum}$	W	thermische Verlustleistung an den Aufstellraum (eines Kesels…)
P_{WW_Anf}	kW	Für Warmwasserbereitung angeforderte Leistung
P_{Heiz_Anf}	kW	Für Heizung angeforderte Leistung
$P_{WW;BE}$	kW	elektrische Nennleistung der Fördereinrichtung für Biomasse des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$P_{WW;K,Geb}$	kW	elektrische Nennleistung des Gebläses des Heizkessels für Warmwasser
$P_{WW;K,HE}$	kW	elektrische Gesamtleistung der Komponenten für Hilfsenergiebedarf der Wärmebereitstellung Warmwasser

$P_{WW;K,Ölp}$	kW	elektrische Nennleistung der Ölpumpe des Heizkessels für Warmwasser
$P_{WW;K,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Pumpe des Heizkessels für Warmwasser
$P_{WW;KN}$	kW	Nennleistung des Heizkessels für Warmwasser
$P_{WW;WS,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Warmwasserspeicher-Ladepumpe
$P_{WW;WT}$	kW	Nennwärmeleistung des Wärmetauschers für Warmwasser
$P_{WW;WT,p}$	W	elektrische Nennleistung der Wärmetauscher-Ladepumpe
$P_{WW;WV,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Zirkulationspumpe
P_{Ve}	W	elektrische Leistung der Ventile der Solaranlage
$P_{WP,el}$	kW	elektrische Leistung der Wärmepumpe
$P_{WP,HE}$	kW	zeitbezogener Hilfsenergieeinsatz der Wärmepumpe
$P_{WP,KN}$	kW	Nennwärmeleistung der Wärmepumpe beim Normpunkt
$P_{WP,KN,in}$	kW	Wärmeleistung der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
$p_{el,vw}$	W/(m³.h)	spezifische elektrische Leistungsaufnahme des Vorheizregisters
$p_{el,vent}$	W/(m³.h)	spezifische elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren, bezogen auf den Luftvolumenstrom
$p_{H,al}$	-	Anteil des zusätzlichen monatlichen Heizungssystems am gesamten Wärmebedarf bei Alternativ-Betrieb der Wärmepumpe
$p_{H,pa}$	-	Anteil des zusätzlichen monatlichen Heizungssystems am gesamten Wärmebedarf bei Parallel-Betrieb der Wärmepumpe
q	W/m²	Wärmestromdichte
Q	J	Wärme
$q_{\%}$	%	kalkulatorische Zinsen
$Q_{\%}$	-	Faktor für die kalkulatorischen Zinsen
$Q_{c,a}$	kWh/a	jährlicher Kühlbedarf
$Q_{c,j}$	kWh/M	monatlicher Kühlbedarf
q_{cond}	W/m²	Wärmestromdichte aus Wärmeleitung
$q_{cond,li}$	W/m²	Wärmestromdichte aus Wärmeleitung von der linken Seite
$q_{cond,re}$	W/m²	Wärmestromdichte aus Wärmeleitung von der rechten Seite
q_{conv}	W/m²	Wärmestromdichte aus Konvektion
$Q_{g,j,c}$	kWh/M	modifizierte Wärmegewinne eines Gebäudes/Gebäudeteiles im jeweiligen Monat
$Q_{h,a}$	kWh/a	jährlicher Heizwärmebedarf
$Q_{h,j}$	kWh/M	monatlicher Heizwärmebedarf
$Q_{h,j,RK}$	kWh/M	monatlicher Heizwärmebedarf bei Berechnung mit Referenzklimabedingungen
$Q_{l,j}$	kWh/M	gesamte Wärmeverluste im jeweiligen Monat
q_{li}	W/m²	Wärmestromdichte von links
$Q_{g,hour}$	W	gesamte Wärmegewinne in der jeweiligen Stunde
$Q_{g,j}$	kWh/M	gesamte Wärmegewinne im jeweiligen Monat

Q_{el}	kWh/M	monatlicher elektrischer Energiebedarf der Wärmepumpe
Q_g	kWh/M	Gesamtwärmegewinne
$Q_{ges,HE}$	kWh/M	gesamter monatlicher Hilfsenergiebedarf
Q_H	kWh/M	monatliche Verluste der Raumheizung
Q^*_H	kWh/M	bereitzustellende monatliche Heizenergie für Raumheizung
$Q_{H,BE,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Fördereinrichtung für Biomasse
$Q_{H,beh}$	kWh/M	zurückgewinnbare monatliche Verluste der Raumheizung
$Q_{H,Geb,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Gebläses des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{H,HE}$	kWh/M	monatliche Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$Q_{H,hour}$	W	zurückgewinnbare Verluste der jeweiligen Stunde
$Q_{HT,hour}$	W	Verluste der Haustechnik der jeweiligen Stunde
$Q_{H,K}$	kWh/M	monatliche Verluste des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{H,K,bb}$	kWh/M	monatliche Betriebsbereitschaftsverluste des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{H,K,be}$	kWh/M	monatliche Betriebsverluste des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{H,K,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{h,LE}$	kWh/M	monatliche Nutzenergie für Heizen zum Zweck der Lufterneuerung nach ÖNORM H 5057
$Q_{h,mech}$ $Q_{h,RLT}$	kWh/M	monatliche Nutzenergie für Heizen zum Zweck der prozessbedingten Luftbehandlung nach ÖNORM H 5057
$Q_{H,ÖV,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Ölvorwärmung des Heizkessels für Raumwärme
$Q_{H,R}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste von Raumheizungsgeräten und Herden
$Q_{H,SH}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste der Bereitstellung von Raumwärme durch elektrische Energie (z. B. elektrische Widerstandsheizung, elektrischer Nachtspeicherheizung)
$Q_{H,Vp}$	kWh/M	Zurückgewonnene monatliche Wärmeverluste von Verteilpumpen im Bereich Raumheizung
$Q_{H,Vp,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Verteilpumpen für Raumheizung
$Q_{H,WA}$	kWh/M	monatliche Verluste des Wärmeabgabesystems für Raumheizung
$Q_{H,WA,HE}$	kWh/M	monatliche Hilfsenergiebedarf für Gebläsekonvektoren
$Q_{H,WB}$	kWh/M	monatlichen Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung
$Q_{H,WB,eh}$	kWh/M	zusätzliche monatliche Verluste des Wärmebereitstellungssystems der Raumheizung durch Einschalthäufigkeit
$Q^*_{H,WP}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Wärmebereitstellung für Raumheizung
$Q_{H,WP,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Wärmepumpe für

		Raumheizung
$Q^*_{H,WP,in}$	kWh/M	von der Wärmepumpe bereitzustellende monatliche Heizenergieinnerhalb des Temperaturintervalls
$Q_{H,WS}$	kWh/M	monatliche Verluste des Wärmespeichersystems für Raumheizung
$Q_{H,WS,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf zum Laden eines indirekt beheizten Heizungsspeichers
$Q_{H,WT}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher
$Q_{H,WV}$	kWh/M	monatliche Verluste des Wärmeverteilsystems der Raumheizung
$Q_{H,WV,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf für die Umwälzpumpe der Wärmeverteilung für Raumheizung
$Q_{h,zul}$	kWh/a	zulässiger jährlicher Heizwärmebedarf
$Q_{heiz,hour}$	W	Heizleistung in der jeweiligen Stunde
Q_{HEB}	kWh/a	jährlicher Heizenergiebedarf
$Q_{HEB,H}$	kWh/M	monatlicher Heizenergiebedarf für Raumheizung
$Q_{HEB,n}$	kWh/M	monatlicher Heizenergiebedarf
$Q_{HEB,ref}$	kWh/a	jährlicher Referenz-Heizenergiebedarf
$Q_{HEB,WW}$	kWh/M	monatlicher Heizenergiebedarf für Warmwasser
$Q_{HEB,zul}$	kWh/a	zulässiger jährlicher Heizenergiebedarf unter Berücksichtigung der Referenzausstattung und des maximal zulässigen Heizwärmebedarfes
Q_{HTEB}	kWh/a	jährlicher Heiztechnik-Energiebedarf
$Q_{HTEB,ref}$	kWh/a	jährlicher Referenz-Heiztechnik-Energiebedarf
$Q^*_{H,x,al}$	kWh/M	Wärmebedarf des zusätzlichen monatlichen Heizungssystems bei Alternativ-Betrieb
$Q^*_{H,x,pa}$	kWh/M	Wärmebedarf des zusätzlichen monatlichen Heizungssystems bei Parallel-Betrieb
Q_i	kWh/M	innere Wärmegewinne
$Q_{i,c}$	kWh/M	monatliche innere Wärmegewinne für Nicht-Wohngebäude im Kühlfall
$q_{i,c}$	W/m²	durchschnittliche spezifische Leistung der inneren Wärmegewinne im Kühlfall
$q_{i,c,n}$	W/m²	innere Wärmegewinne infolge Personen und Geräte im Kühlfall, bezogen auf die Bezugsfläche BF gemäß ÖNORM B 8110-6
$Q_{i,h}$	kWh/M	monatliche innere Wärmegewinne für Nicht-Wohngebäude im Heizfall
$q_{i,h}$	W/m²	durchschnittliche spezifische Leistung der inneren Wärmegewinne im Heizfall
$q_{i,h,n}$	W/m²	innere Wärmegewinne infolge Personen und Geräte im Heizfall, bezogen auf die Bezugsfläche BF gemäß ÖNORM B 8110-6
$Q_{i,hour}$	W	innere Wärmegewinne in der jeweiligen Stunde
Q^*_{kom}	kWh/M	vom Wärmeerzeuger bereitzustellende monatliche

		Heizenergie für Warmwasser und Raumheizung
$Q_{kom,FW}$	kWh/M	monatlichen Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser durch Nah-/ Fernwärme
$Q_{kom,K}$	kWh/M	monatliche Verluste des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom,K,bb}$	kWh/M	monatlicher Betriebsbereitschaftsverlust des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom,K,be}$	kWh/M	monatlicher Betriebsverlust des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom,KN}$	kWh/M	monatlichen Verluste von Heizkessel für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom,SH}$	kWh/M	monatliche Verluste der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser durch eine Beheizung mit elektrischer Energie
$Q_{kom,Vp}$	kWh/M	Zurückgewonnene monatliche Wärmeverluste von Verteilpumpen im Bereich Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom,WB}$	kWh/M	monatliche Verluste der kombinierten Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom,WB,eh}$	kWh/M	zusätzliche monatliche Verluste des Wärmebereitstellungssystems für Raumheizung und Warmwasser durch die Einschalthäufigkeit
$Q_{kom,WT}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher
$Q_{kom,WT,s}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher (sekundär)
$Q_{kom,WT,t}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher (tertiär)
Q_{l}	kWh/M	monatliche Wärmeverluste nach ÖNORM B 8110-6
$Q_{L,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Lüftungsanlagen
$Q_{l,hour}$	W	gesamte Wärmeverluste in der jeweiligen Stunde
Q_{LH}	kWh/M	monatliche Verluste der Luftheizung
Q_{lh}	kWh/M	Nutzenergie der Luftheizung
$Q_{LH,LI,beh}$	kWh/M	zurückgewinnbare monatliche Verluste der Lüftungsleitungen in beheizten Räumen
$Q_{LH,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Ventilators für die Luftheizung
$Q_{LH,WA}$	kWh/M	Verluste für Wärmeabgabe der Luftheizung im jeweiligen Monat
$Q_{LH,WB}$	kWh/M	Verluste der Wärmebereitstellung der Luftheizung im jeweiligen Monat
$Q_{LH,WV}$	kWh/M	Verluste für Wärmeverteilung der Luftheizung im jeweiligen Monat
$Q_{mL,HE}$	kWh/M	monatliche Hilfsenergiebedarf des Ventilators für mechanische Lüftung

$Q_{mL,vw}$	kWh/M	Energie für die Vorwärmung eines ungeregelten Heizregisters
$Q_{opak,c,k.j}$	kWh/M	solarer Eintrag der opaken Oberfläche k mit der Orientierung} im Kühlfall
q_{re}	W/m²	Wärmestromdichte von rechts
Q_s	kWh/M	solare Gewinne
$Q_{s,hour}$	W	solare Gewinne in der jeweiligen Stunde
Q_{Sol}	kWh/M	monatlicher Bruttowärmeertrag
$Q_{Sol,B}$	kWh/M	monatlicher Bruttowärmeertrag des Kollektors
$Q_{Sol,beh}$	kWh/M	zurückgewinnbare monatliche Verluste der Rohrleitungen zwischen Solarkollektor und Speicher
$Q_{Sol,H}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag des Solarkollektors für Raumheizung
$Q_{Sol,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Solaranlage
$Q_{Sol,N}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag des Solarkollektors
$Q_{Sol,WW}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag des Solarkollektors für Warmwasser
$Q_{Sol,WV}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste der Rohrleitungen des Kollektorkreises
Q_T	kWh/M	Transmissionswärmeverluste für den jeweiligen Monat gemäß
$Q_{T,hour}$	W	Transmissionswärmeverluste der jeweiligen Stunde
$Q_{V,hour}$	W	Lüftungswärmeverluste der jeweiligen Stunde
Q_V	kWh/M	Lüftungswärmeverluste für den jeweiligen Monat
$Q_{Vh,FL}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Heizfall infolge Fensterlüftung
$Q_{Vc,FL}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Heizfall infolge Fensterlüftung
$Q_{Vh,RLT}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Heizfall infolge einer RLT-Anlage
$Q_{Vc,RLT}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Kühlfall infolge einer RLT-Anlage
$Q_{Vh,Inf}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Heizfall infolge Infiltration
$Q_{Vh,Inf}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Kühlfall infolge Infiltration
Q_{Vh}	kWh/M	Lüftungswärmeverluste im Heizfall
Q_{Vc}	kWh/M	Lüftungswärmeverluste im Kühlfall
Q_{WW}	kWh/M	monatliche Verluste der Warmwasserbereitung
Q^*_{WW}	kWh/M	bereitzustellende monatliche Heizenergie für Warmwasser
$Q^*_{c,a}$	kWh/a	jährlicher Kühlbedarf gemäß wobei zur Berechnung die inneren Wärmegewinne und die Luftwechselrate null zu setzen sind (die Infiltration nx wird in diesem Fall mit dem Wert 0,15 angesetzt)
Q_{tw}	kWh/M	monatliche Warmwasser-Wärmebedarf
$Q_{WW,BE,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Fördereinrichtung für Biomasse
$Q_{WW,BE,HE,FG}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Fördergebläses für Biomasse
$Q_{WW,BE,HE,FS}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Förderschnecke für Biomasse
$Q_{WW,beh}$	kWh/M	zurückgewinnbare monatliche Verluste für Warmwasser

$Q_{WW,Geb,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Gebläses des Heizkessels für Warmwasser
$Q_{WW,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf für Warmwasserbereitung
$Q_{WW,K}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste von Heizkessel für Warmwasser im jeweiligen Monat
$Q_{WW,K,bb}$	kWh/M	monatlicher Betriebsbereitschaftsverlust des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$Q_{WW,K,be}$	kWh/M	monatliche Betriebsverluste des Heizkessels für Warmwasser
$Q_{WW,K,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf eines Heizkessels für Warmwasser
$Q_{WW,WB,eh}$	kWh/M	zusätzliche monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser durch die Einschalthäufigkeit
$Q_{WW,ÖV,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Ölvorwärmung des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$Q_{WW,SH}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser durch elektrische Energie (z. B. Elektrodurchlauferhitzer)
$Q_{WW,Vp}$	kWh/M	zurückgewonnene monatliche Wärmeverluste von Verteilpumpen im Bereich Warmwasser innerhalb der Heizperiode
$Q_{WW,Vp,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Verteilpumpen für Warmwasser
$Q_{WW,WA}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems für Warmwasser
$Q_{WW,WB}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste des Wärmebereitstellungssystems für Warmwasserbereitung
$Q_{WW,WB,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf für Wärmebereitstellung für Warmwasser
$Q^*_{WW,WP}$	kWh/M	von der Wärmepumpe bereitzustellende monatliche Heizenergie für Warmwasser
$Q^*_{WW,WP,in}$	kWh/M	von der Wärmepumpe bereitzustellende monatliche Wärmemenge zur Warmwasserbereitung innerhalb des Temperaturintervalls
$Q_{WW,WS}$	kWh/M	monatlicher Verlust des Warmwasserspeichers
$Q_{WW,WS,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf zum Laden eines indirekt beheizten Warmwasserspeichers
$Q_{WW,WT}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher
$Q_{WW,WT,s}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser im Sekundärkreis
$Q_{WW,WT,t}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser im Tertiärkreis
$Q_{WW,WT,HE}$	kWh/M	monatliche Hilfsenergiebedarf für den Betrieb des Warmwasser- Wärmetauschers

$Q_{WW,WV}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste des Wärmeverteilsystems für Warmwasser
$Q_{WW,WV,A}$	kWh/M	monatliche Aufheiz-/Abkühlverluste der Stichleitung des Wärmeverteilsystems der Warmwasserbereitung
$Q_{WW,WV,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Zirkulationspumpe
Q_{ww} , $Q_{ww,n}$	kWh/M	monatlicher Warmwasser-Wärmebedarf
$Q_{Umw,H}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe zur Raumheizung aus Umweltwärme
$Q_{Umw,WW}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe zum Warmwasser aus Umweltwärme
$Q_{Umw,WW,WP}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung aus Umweltwärme
$Q_{Umw,WW,WP,in}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung aus Umweltwärme innerhalb des jeweiligen Temperaturintervalls
$Q_{Umw,WP}$	kWh/M	monatliche Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe aus Umweltwärme
$Q_{Umw,WP,H}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe für Raumheizung aus Umweltwärme
$Q_{Umw,WP,in}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe aus Umweltwärme innerhalb des jeweiligen Temperaturintervalls
$Q_{Umw,WP,WW}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe für Warmwasser aus Umweltwärme
$Q_{ww,d}$	kWh/d	täglicher Warmwasser-Wärmebedarf
$Q_{WW,ZP,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf für Zirkulationspumpen
q_{at}	W/K	spezifische Wärmeverluste durch Anschlussteile, Pumpen u. dgl.
$q_{b,WS}$	kWh/d	täglicher Bereitschaftsverlust des Wärmespeichers
$q_{b,WT}$	Wh/(kW.d)	täglicher Bereitschaftsverlust des Wärmetauschers
q_{bb}	kW/kW	spezifischer Betriebsbereitschaftsverlust des Heizkessels bei Betriebsbedingungen
$q_{bb,Pb}$	kW/kW	Betriebsbereitschaftsverlust des Heizkessels bei Prüfbedingungen
$q_{H,Ro,Anbindel}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Anbindeleitungen für Raumheizung
$q^*_{H,Ro,beh}$	W	monatliche Wärmeabgabe der Rohrleitungen für Raumheizung in beheizten Räumen
$q_{H,Ro,Steigl}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Steigleitungen für Raumheizung
$q_{H,Ro,Verteil}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Verteilleitungen für Raumheizung
$q^*_{H,Ro,u}$	W	monatliche Wärmeabgabe der Rohrleitungen für Raumheizung in unbeheizten Räumen
$q_{H,WA}$	W/m²	spezifische Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems
$q_{H,WA,1}$	W/m²	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Regelfähigkeit des Wärmeabgabesystems

$q_{H,WA,2}$	W/m²	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Anpassungsfähigkeit des Wärmeabgabesystems
$q_{H,WA,3}$	W/m²	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Heizkostenabrechnung des Wärmeabgabesystems
$q_{LH,LI}$	W/m²	Verlustfaktor der Verteilleitung der Luftheizung
$q_{Ro,A}$	W/m²	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe der Stichleitung durch Aufheizung/Auskühlung
$q_{Ro,Anbindel}$	W/(m.K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe Anbindeleitung
$q_{Ro,hor}$	W/(m.K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe horizontaler Rohrleitung des Kollektorkreises
$q_{Ro,ver}$	W/(m.K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe vertikaler Rohrleitung des Kollektorkreises
$q_{Ro,Steigl}$	W/(m.K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe Steigleitung
$q_{Ro,Verteil}$	W/(m.K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe Verteilleitung
$q^*_{Sol,Ro,beh}$	W	Wärmeabgabe der Rohrleitungen des Kollektorkreises in beheizten Räumen
$q_{Sol,Ro,hor}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von horizontalen Rohrleitungen des Kollektorkreises
$q^*_{Sol,Ro,u}$	W	Wärmeabgabe der Rohrleitungen des Kollektorkreises in unbeheizten Räumen
$q_{Sol,Ro,ver}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von vertikalen Rohrleitungen des Kollektorkreises
$q^*_{WW,Ro,beh}$	W	Wärmeabgabe der Rohrleitungen in beheizten Räumen
$q_{WW,Ro,Steigl}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Steigleitungen für Warmwasser
$q_{WW,Ro,Verteil}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Verteilleitungen für Warmwasser
$q^*_{WW,Ro,u}$	W	Wärmeabgabe der Rohrleitungen in unbeheizten Räumen
$q_{WW,Ro,Zirkl-S}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Rücklauf-Steigleitungen für Warmwasser
$q_{WW,Ro,Zirkl-V}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Rücklauf-Verteilleitungen für Warmwasser
$q_{WW,WA,1}$	W/m²	spezifischer Wärmeverlust aufgrund der Regelfähigkeit der Warmwasserabgabe
$q_{WW,WA,2}$	W/m²	spezifischer Wärmeverlust im Bereich der Warmwasser-Verbrauchserfassung
r	m	Radius
R_D	J/(kg*K)	Gaskonstante von Wasserdampf
r_F	-	Reflexionsgrad der Fläche
r_h	-	Verhältniszahl für den Anteil der Heizung
R_L	J/kgK	Gaskonstante von Luft
R_m	kg/(m².s.Pa)	Feuchtedurchgangswiderstand
R_{se}	m².K/W	Wärmeübergangswiderstand außen
R_{si}	m².K/W	Wärmeübergangswiderstand innen
R_t	m².K/W	Wärmedurchlasswiderstand
$R_{t,r}$	m².K/W	Wärmedurchlasswiderstand der restlichen

		Baustoffschichten
RW	EUR	Restwert
r_{ww}	-	Verhältniszahl für den Anteil des Warmwassers
s	Pa	Saugspannung
s	%	Wertsteigerung des RW
S	-	Faktor für die Wertsteigerung des RW
S	kWh/(m².M)	monatliche Globalstrahlung auf die horizontale Fläche gemäß ÖNORM B 8110-5
s_d	m	wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke: Dicke einer Luftschicht, die denselben Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand aufweist wie die Schicht eines Stoffes mit der Dicke d und der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ sd = μ · d
S_{ges}	kWh/(m².a)	Globalstrahlung auf die horizontale Fläche im gesamten Jahr gemäß ÖNORM B 8110-5
SQ		Oberflächenqualität (SQ … surface quality)
T	K	absolute Temperatur
t	h/M	Stunden pro Monat
T_A	K	Temperatur der Außenluft
$t_{c,d}$	h/d	tägliche Betriebszeit der Kühlung
t_{crit}	h	kritische Zeit zur Verrottungsberechnung
$t_{FRL,min}$	h/M	monatliche Anzahl der Betriebsstunden unter der Außentemperatur, bei der das elektrische Heizregister zugeschaltet werden muss
$t_{FRL,min,j}$	h/M	monatliche Anzahl der Betriebsstunden des Frostschutzes bei einer Außentemperatur j in °C
$t_{FRL,VW,j}$	h/M	monatliche Anzahl der Betriebsstunden des Frostschutzes bei einer Außentemperatur j in °C
$T_{Grenz,li}$	K	Temperatur an der linken Schichtgrenze
$T_{Grenzt,re}$	K	Temperatur an der rechten Schichtgrenze
$t_{H,BE,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf der Fördereinrichtung für Biomasse
$t_{h,d}$	h/d	tägliche Betriebszeit der Heizung
$t_{H,K,bb}$	h/M	monatliche Betriebsbereitschaftsdauer des Heizkessels für Raumheizung
$t_{H,K,be}$	h/M	monatliche Laufzeit des Heizkessels für Raumheizung
$t_{H,K,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer einzelner Komponenten des Heizkessels mit Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$t_{H,WA,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer einzelner Komponenten der Wärmeabgabe (Gebläsekonvektor, Radiatoren, Einzelraumheizer, Flächenheizungen) mit Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$t_{H,WP}$	h/M	monatliche Laufzeit der Wärmepumpe
$t_{H,WP,in}$	h/M	monatliche Laufzeit der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall

$t_{H,WS,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer einzelner Komponenten der Wärmespeicherung mit Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$t_{H,WT,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer einzelner Komponenten eines Wärmetauschers mit Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$t_{H,WV,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf für Wärmeverteilung der Raumheizung
t_{in}	h/M	Stunden pro Monat innerhalb des betrachteten Temperaturintervalls
t_j	h/M	Anzahl der Stunden pro Monat bei einem Stundenmittel der Außentemperatur von *j* °C
$t_{kom,K,bb}$	h/M	monatliche Betriebsbereitschaftsdauer des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasserbereitung
$t_{kom,K,be}$	h/M	monatliche Laufzeit des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasserbereitung
T_L	K	Lufttemperatur
t_{LH}	h/M	monatliche Betriebsdauer der Luftheizung
t_{mL}	h/M	monatliche Betriebsdauer der mechanischen Lüftungsanlage
$t_{Nacht,a}$	h/a	Nutzungsstunden zur Nachtzeit pro Jahr
$t_{NL,d}$	h/a	tägliche Betriebszeit der Nachtlüftung
t_{Nutz}	h/M	monatliche Nutzungsgesamtzeit (Nutzungstage mal Nutzungsstunden)
$t_{Nutz,d}$	h/d	tägliche Nutzungszeit
T_O	K	Oberflächentemperatur
t_{op}	°C	operative Temperatur
T_R	K	Temperatur des Raumes
$t_{RLT,d}$	h/d	tägliche Betriebszeit der raumlufttechnischen Anlage
$t_{RLT,d}$	h/d	tägliche Betriebsdauer der RLT-Anlage mit Nutzungsprofil gemäß ÖNORM B 8110-5
t_s	s	Zeit
T_S	K	Strahlungstemperatur
$T_{Schicht}$	K	Temperatur in der Schicht
$T_{Schicht,li}$	K	Temperatur in der linken Schicht
$T_{Schicht,re}$	K	Temperatur in der rechten Schicht
t_{SD}	min	Zeit zur Überbrückung der Schaltdifferenz
T_{Sky}	K	Himmelstemperatur
$t_{Sol,p}$	h/a	jährliche Laufzeit der Solarkreispumpe
$t_{Sol,Ve}$	h/a	jährliche Betriebszeit der elektrischer Ventile der Solaranlage
$t_{Tag,a}$	h/a	Nutzungsstunden zur Tageszeit pro Jahr
t_p	s	Periodendauer
$T_{Wärmequelle}$	K	Referenztemperatur der Wärmequelle für den Carnot-Vergleichsprozess einer Wärmepumpe bzw. Kältemaschine
$T_{Wärmesenke}$	K	Referenztemperatur der Wärmesenke für den Carnot-Vergleichsprozess einer Wärmepumpe bzw. Kältemaschine

$t_{WW,BE,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf der Fördereinrichtung für Biomasse-Heizkessel der Warmwasserbereitung
$t_{WW,K,bb}$	h/M	monatliche Dauer der Betriebsbereitschaft des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$t_{WW,K,be}$	h/M	monatliche Betriebsdauer des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$t_{WW,K,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf des Heizkessels für Warmwasser
$t_{WW,WS,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf des Warmwasserspeichers
$t_{WW,WT,HE}$	h/d	tägliche Betriebsdauer der Wärmetauscher-Ladepumpe
$t_{WW,WV,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten der Wärmeverteilung mit Hilfsenergiebedarf für Warmwasser
T_0	K	Referenztemperatur
U	W/(m².K)	Wärmedurchgangskoeffizient
$U_{½}$	W/(m².K)	Wärmedurchgangskoeffizient der halben Schicht
U_i	W/(m².K)	Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils i
U_{in}	J	Innere Energie
U_k	W/(m².K)	Wärmedurchgangskoeffizient der Teilfläche k
U_k	W/(m².K)	Wärmedurchgangskoeffizient der Teilfläche k
U_{Kess}	W/(m².K)	Wärmedurchgangskoeffizient für Pelletskessel
U_m	W/(m².K)	auf die Oberfläche des konditionierten Brutto-Volumens (wärmeabgebende Gebäudehüllfläche) bezogener Transmissions-Leitwert
u_m	-	massebezogener Feuchtigkeitsgehalt fester Stoffe: Verhältnis der Differenz von Feucht- und Trockenmasse zur Trockenmasse $u_m = \frac{m_f - m_{tr}}{m_{tr}}$
$U_{u,e}$, $U_{i,u}$	W/(m².K)	U-Wert Einzelbauteils zwischen innen und unkonditioniertem Raum bzw. zwischen unkonditioniertem Raum und außen
$U_{Schicht,li}$	W/(m².K)	Wärmedurchgangskoeffizient der linken Schicht
$U_{Schicht,re}$	W/(m².K)	Wärmedurchgangskoeffizient der rechten Schicht
u_v	kg/m³	volumenbezogener Feuchtigkeitsgehalt fester Stoffe: Verhältnis des im feuchten Stoff enthaltenen Wasservolumens zum Volumen des trockenen Stoffes $u_v = \frac{u_m \cdot \rho_{tr}}{\rho_w}$
V	m³	konditioniertes Brutto-Volumen des Gebäudes/Gebäudeteils
v	m/s	Luftgeschwindigkeit
$VBW_{Rauchgas}$	W/K	Rauchgas-Verlustbeiwert für Kessel
$V_{f,u}$	m³	freies Luftvolumen des unkonditionierten Raumes
v_{gap}	m/s	Luftgeschwindigkeit in der Hinterlüftungsebene

$V_{H,WS}$	l	Nenninhalt des Heizungsspeichers
VK	EUR	verbrauchsgebundene Baunutzungskosten als konstanter Wert pro Jahr
VK_j	EUR	verbrauchsgebundene Baunutzungskosten im Rechenjahr j
V_L	m³	Lüftungsvolumen des Gebäudes
$V_{L,s}$	m³/(h.m²)	immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom
V_V	m³	energetisch wirksames Luftvolumen
v_V	m³/h	Luftvolumenstrom
$V_{V,real}$	m³	reales Lüftungsvolumen
v_{VK}	-	Verzinsungsfaktor für die VK
$V_{WW,WS}$	l	Nenninhalt des Warmwasserspeichers
V_{Wass}	l	Wasserinhalt des Kessels
W	J	Arbeit
W		Holzart
$wwwb$	Wh/(m².d)	täglicher Warmwasser-Wärmebedarf, bezogen auf die Bezugsfläche BF gemäß ÖNORM B 8110-6
x	g/kg	absolute Feuchteanforderung (m. T . ... mit Toleranz: - ... keine Anforderung)
x,y,z	m	Ortskoordinaten
z	-	Abminderungsfaktor für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen
Z_{ON}	-	Orientierungs- und Neigungsfaktor gemäß ÖNORM B 8110-3